INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DA CORROSÃO PROVOCADA PELO CLORO E PROCURA DE MATERIAIS ALTERNATIVOS

BRUNO OLIVEIRA FERREIRA

Outubro de 2015

POLITÉCNICO
DO PORTO

Instituto Superior de Engenharia do Porto
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DA CORROSÃO PROVOCADA PELO CLORO E PROCURA DE MATERIAIS ALTERNATIVOS

Bruno Oliveira Ferreira

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto
POLITÉCNICO DO PORTO

2015

Instituto Superior de Engenharia do Porto
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DA CORROSÃO PROVOCADA PELO CLORO E PROCURA DE MATERIAIS ALTERNATIVOS

Bruno Oliveira Ferreira

1080904

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP e pela Doutora Susana Maria Ribeiro e Sousa Mendes de Freitas do Departamento de Engenharia Química do ISEP.

isep Instituto Superior de Engenharia do Porto
POLITÉCNICO DO PORTO

2015

Júri

Presidente	Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto *Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto*
Orientador	Doutor Francisco José Gomes da Silva *Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto*
Co-Orientadora	Doutora Susana Maria Ribeiro e Sousa Mendes de Freitas *Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto*
Vogal	Doutor *Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço aos meus pais, por acreditarem nos meus objectivos, e serem uma peça fundamental em todas as minhas conquistas.

Ao Doutor Francisco José Gomes da Silva por ter aceite orientar esta tese, visto ter sido uma proposta do aluno e não se encontrar entre os temas apresentados. Agradeço igualmente por toda a amizade e disponibilidade apresentada, apesar da sua agenda muito preenchida, e por ter contribuído de uma forma decisiva para o resultado atingido, tendo conduzido, com sabedoria, a evolução desta tese nos momentos chave, nos quais me orientou, ensinou, corrigiu e motivou incondicionalmente, ajudando a superar as todas dificuldades sentidas.

A minha co-orientadora Doutora Susana Maria Ribeiro e Sousa Mendes de Freitas, pelas críticas, correcções e sugestões feitas durante a orientação.

Às empresas Sove e J. Pinto Leitão, que forneceram materiais e informação sempre que foi pretendido.

À Engenheira Fátima Andrade (ISEP), ao Engenheiro Rui Rocha (CEMUP), ao Engenheiro Jorge Ribeiro (empresa Sove) e ao Engenheiro e amigo Pedro Pinho, por toda a disponibilidade demonstrada sempre que foi solicitado.

A toda a família e amigos de longa data, pela compreensão de grandes períodos de ausência, pelo apoio e incentivo dados durante estes últimos anos de percurso no ISEP.

Resumo

Muitas instalações municipais são alvo de manutenção permanente, devido ao uso de produtos químicos que provocam a corrosão e degradação dos mais diversos materiais. Esta degradação acarreta custos elevados para os municípios e privação de uso de algumas instalações devido a manutenção curativa ou preventiva.

Um estudo adequado do efeito dos produtos utilizados, poderia conduzir à utilização de materiais mais nobres, que aumentasse significativamente o tempo de vida dos produtos mais atacados pela degradação por corrosão, através de estudos que permitissem avaliar a relação custo-benefício e, caso esta fosse favorável, proceder à substituição de determinados componentes em materiais relativamente fracos, por outros com uma maior capacidade para resistir aos ataques produzidos pelo meio em que estão inseridos.

Este estudo foi efectuado com vista a estudar a degradação de determinados materiais expostos essencialmente à acção do Cloro em instalações municipais, permitindo assim seleccionar novos materiais que permitissem uma vida útil dos componentes mais alargada, estudando convenientemente a relação custo-benefício.

Foi possível observar que a introdução de alguns materiais mais nobres, poderá reduzir drasticamente as operações de manutenção, diminuindo os custos e reduzindo também o tempo de indisponibilidade dos equipamentos municipais.

Palavras-chave

Degradação, Corrosão, Materiais, Equipamentos municipais, Acção do Cloro.

Abstract

Many municipal facilities are subject to ongoing maintenance, due to the use of chemicals that cause corrosion and degradation of the most diverse materials. This degradation entails high costs for municipalities and use loss of some facilities due to curative or preventive maintenance.

A proper study of the effect of the products used, could lead to the use of noble materials, which can increase significantly the lifetime of products more attacked by degradation by corrosion, through studies that allow to evaluate the cost-benefit ratio and, in the case of this being favourable, proceed to the replacement of certain components made in relatively weak materials, by others with a greater capacity to resist to attacks produced by the environment into which they are installed.

This study was carried out with a view to studying the degradation action of certain materials exposed primarily to the chlorine in municipal facilities, thus allowing select new materials that let a longer component life, studying conveniently the corresponding cost-benefit ratio.

It was possible to observe that the introduction of some better selected materials, can dramatically reduce maintenance operations by lowering costs and reducing the time of municipal equipment unavailability.

Keywords

Degradation, Corrosion, Materials, Municipal facilities, Chlorine action.

Lista de Símbolos e Abreviaturas

M	Massa perdida, em g
e	Equivalente electroquímico do metal
i	Corrente de corrosão, em A
t	Tempo em que se analisou o processo de corrosão
DV	Diferença de potencial dos eléctrodos
R	Resistência de contacto dos eléctrodos das pilhas
mm/ano	Milímetros por ano
mdd	$mg/dm^2/dia$
$mg/dm^2/dia$	Miligramas por decímetro quadrado por dia
mpy	Milésimos de polegadas por ano
Δm	Perda de massa, em mg
S	Área exposta, em cm^2
T	Tempo, em dias
ρ	Densidade do material, em g/cm^3
pol^2	Polegada quadrada
ppm	Partes por milhão
ASTM	Sociedade americana para ensaios de material (*American Society for Testing and Materials)*
AWS	Sociedade americana de soldadura (*American Welding Society)*
DT	Testes destrutivos *(Destructive Test)*
ε	Deformação real *(True Strain)*
HV	Dureza Vickers *(Hardness Vickers)*
Kt	Factor de concentração de tensões *(Stress Concentration Factor)*
n	Coeficiente de encruamento *(Strain Hardening Exponent)*
NDT	Testes não-destrutivos *(Non Destructive Test)*
Rm	Resistência máxima à tracção, expressa em MPa *(Tensile Strength)*
$Rp_{0,2}$	Limite elástico *(Yield Strength)*
σ	Tensão real de rotura, expressa em MPa *(True Stress)*
τ	Tensão ao corte, expressa em MPa*(shear stress)*
T	Temperatura, expressa em ºC
TT	Ensaio de tracção *(Tensile Test)*
UTS	Tensão de rotura à tracção, expressa em MPa *(Ultimate Tensile Strength)*
V	Velocidade
Y	Tensão de cedência, expressa em MPa *(Yield Strength)*

d	Diâmetro
DL	Decreto-lei
DR	Diário da Republica
EN	Norma Europeia *(European Norm)*
ETA	Estação de tratamento de água para consumo humano
ETAR	Estação de tratamento de água residual
Fe	Ferro
H	Hidrogénio
O	Oxigénio
Cl	Cloro
Cr	Crómio
NaClO	Hipoclorito de sódio
NaCl	Cloreto de sódio
HOCl	Ácido hipocloroso
OCl	Ião hipocloroso
HCl	Ácido clorídrico
ISO	Organização internacional para padronização *(International Organization for Standardization)*
Kg	Quilograma
m	Metro
mm	Milímetros
mm^2	Milímetros Quadrados
MPa	Mega Pascal
Nº	Número
NP	Norma Portuguesa
Ton	Toneladas
H_2S	Ácido sulfídrico
SO_2	Dióxido de enxofre
CH_4	Metano
CO_2	Dióxido de carbono
O_2	Oxigénio
$Fe(OH)_3$	Hidróxido de ferro
$CaCO_3$	Carbonato de cálcio
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
u	Unidade de massa atómica

MO	Microscopia óptica
MEV	Microscopia electrónica de varrimento
PET	Politereftalato de etileno
EDS	Microanálise por raio-X por Dispersão de Energia *(Energy Disperse X-ray Spectroscopy)*
FEA	Factor de empacotamento atómico

Glossário de Termos

A

Anisotropia: Variação das propriedades físicas e/ou mecânicas de um material com a direcção. Costuma-se designar qual a propriedade em que existe a **anisotropia**, por exemplo, **anisotropia** eléctrica, óptica ou magnética.

B

Bauxita: A bauxita ou bauxite é uma mistura natural de óxidos de alumínio, antes considerada mineral. O seu principal componente é o Al_2O_3. A bauxita contém também sílica, óxido de ferro, dióxido de titânio, silicato de alumínio e outras impurezas em quantidades menores.

C

Cisão heterolítica: A ligação covalente comum fractura-se de modo heterogéneo, ou seja, um dos átomos fica com o par de electrões de ligação e o outro átomo fica com deficiência de electrões.

Cisão homolítica: Ruptura de uma ligação química numa molécula na qual cada átomo participante da ligação retém um ião do par que constitui a união, formando-se radicais livres.

Composto inorgânico: Um composto inorgânico é a substância na qual os átomos de dois ou mais elementos são combinados. Alguns compostos são chamados de inorgânicos porque vêm de minerais, não de coisas vivas ou orgânicas. Compostos que contêm carbono, são quase sempre compostos orgânicos, mas excepções como o dióxido de carbono são inorgânicos. Compostos inorgânicos contêm metais ou hidrogénio combinado com um não-metal ou um grupo de não-metais.

Colóide: Termo que designa um corpo que não se cristaliza ou que se cristaliza com grande dificuldade e que, em dissolução, se difunde com extraordinária lentidão.

Cladeamento: Cladeamento consiste no revestimento interno de certos materiais com ligas metálicas anticorrosivas. O objectivo é aumentar a resistência do material original contra a corrosão.

Composto orgânico: Matéria que deriva do que em algum momento foi um organismo vivo. É matéria decomposta ou em decomposição, composta essencialmente por carbono.

Condições criogénicas: São substâncias que, em condições normais de temperatura e pressão, encontram-se em estado gasoso e que para serem liquefeitas precisam ser submetidas a temperaturas inferiores a -150°C, e quando se encontra em estado líquido se mantem a temperaturas muito baixas. Ar líquido, hidrogénio líquido, hélio líquido são exemplos de substâncias criogénicas.

D

Difracção: denomina-se difracção, o desvio sofrido por ondas ao passarem por um obstáculo.

E

Entropia: Unidade de grandeza termodinâmica (J/K - Joules por Kelvin) utilizada para medir a parcela de energia que não pode mais ser transformada em trabalho a dada temperatura e pressão.

F

Factor de empacotamento cristalino: Em cristalografia, o factor de empacotamento atómico (FEA) é um índice que varia de 0 a 1 e representa a fracção do volume de uma célula unitária que corresponde a esferas sólidas, assumindo o modelo da esfera atómica rígida. Tem como objectivo informar quantos átomos podem ser organizados numa estrutura cristalina e determinar a qualidade no empilhamento. Não existem estruturas cristalinas cujo FEA seja igual a 1, pois se isso ocorrer, não existem espaços entre os átomos nos interstícios. Se o FEA é igual a zero, então trata-se de uma estrutura amorfa. Sabe-se que os tipos de estrutura cristalina com maior eficiência de empacotamento são as do tipo cúbica de face centrada (CFC) e hexagonal compacta (HC).

Fotão: É a partícula elementar da força electromagnética. Na mecânica, é natural para um fotão apresentar amos aspectos como é conhecido (partícula ou onda), de acordo com as circunstancias que se encontra. Normalmente, a luz é formada por um grande número de fotões, tendo a sua intensidade, ou brilho, ligada ao número deles. São necessários equipamentos muito sensíveis quando se utilizam baixas intensidades.

H

Higroscópica: Substância que tem como propriedade a capacidade de absorver humidade.

L

Lignina: Polímero fenólico altamente ramificado, com uma estrutura complexa constituída de álcoois fenilpropanóides que podem estar associados com celuloses e proteínas. Esta substância química impregna as membranas de certas células vegetais, aumentando a sua consistência.

M

Materiais anfóteros ou anfotéricos: Material que se pode comportar como ácido ou como base.

Metaestável: Qualquer estado do sistema diferente do estado de equilíbrio mais estável, que tenha associado a si uma restrição que impeça a transição imediata deste para o estado mais estável, sem alguma perturbação significativa de origem geralmente externa ao sistema.

P

Par galvânico: Designação de dois metais que estão em contacto eléctrico e imersos num electrólito, dando origem a corrosão galvânica, que é um processo electroquímico em que um metal sofre corrosão preferencialmente em relação a outro.

Permissividade de um solvente: A permissividade eléctrica relativa (anteriormente designada por constante dieléctrica) é uma medida da polaridade de um solvente e é definida como o quociente entre a intensidade do campo eléctrico no vazio e no material em questão (neste caso, o solvente). Os solventes que tenham um valor de permitividade relativa inferior a 15, classificam-se como apolares.

R

Regiões intermetálicas: Um intermetálico, é um composto formado por dois ou mais metais em proporções bem definidas, os quais têm uma característica de estrutura cristalina ordenada próxima ao ponto de fusão. Uma região intermetálica define-se como sendo uma região pertencente a um material intermetálico.

S

Solvente apolar: Classe de solvente caracterizado pela ausência, ou baixa ocorrência, de momento dipolar nas moléculas constituintes.

Índice de Figuras

Índice de Tabelas

Índice de Gráficos

Índice

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Tem sido prática corrente dos municípios nas últimas décadas, disponibilizar instalações com serviços a custo controlado, onde os munícipes podem ocupar parte dos seus tempos livres, muitas vezes praticando alguns tipos de desporto, o que melhora claramente a sua qualidade de vida e vai até de encontro às necessidades físicas de pessoas mais idosas, em que algum exercício físico moderado passa a ser quase condição obrigatória para uma maior estabilidade motora e mesmo emocional.

Existem ainda instalações onde, não existindo um benefício tão directo à população, são no entanto indispensáveis para a qualidade de vida de todos os munícipes e do meio ambiente em geral, tais como as Estações de Tratamento de Águas.

As instalações municipais anteriormente referidas utilizam produtos que promovem a desinfecção e que possuem, em geral, elevada capacidade de corrosão. Um desses produtos é o Cloro, que está presente em vários tipos de instalações, sendo predominante o seu uso em piscinas e instalações afins.

O efeito do Cloro é sobejamente conhecido: degrada fortemente quase todos os produtos com os quais entra em contacto duradouro. Dependendo da sua concentração na água, pode provocar a corrosão acelerada de imensos materiais, mesmo daqueles que teoricamente resistiriam a ambientes algo agressivos. Sendo necessário o uso do Cloro, irão ser sentidos problemas em tanques, tubagens e demais acessórios por onde este circulará em conjunto com a água, obrigando a manutenções periódicas frequentes e à degradação do funcionamento geral de parte das instalações.

Assim, urge rever toda esta situação. Já que não se pode evitar o uso de Cloro, terá que se proceder a uma adequada selecção dos materiais que estão em contacto com ele, nas mais diversas situações, para que a degradação provocada por este elemento se faça sentir de forma mais moderada e as operações de manutenção sejam mais reduzidas e efectuadas de forma mais controlada.

1.2. Objectivos

Este trabalho teve como objectivo principal proceder ao estudo dos problemas de corrosão induzidos pela utilização de Cloro em instalações municipais. Assim, poderá considerar-se que os objectivos principais passam por:

- Identificar os problemas de corrosão induzidos pelo Cloro;
- Medir o tempo de funcionamento de determinados componentes mais sujeitos a degradação, por forma a poder estabelecer uma comparação do tempo de vida útil com os mesmos componentes realizados em outros tipos de material;
- Efectuar uma adequada pesquisa e selecção de materiais, com vista à substituição de parte, ou mesmo da totalidade dos materiais previamente utilizados;
- Efectuar testes de degradação acelerada dos materiais anteriormente aplicados e daqueles que se pretende passar a utilizar;
- Instalar novos materiais e verificar a sua aptidão ao uso.

Para a prossecução dos objectivos anteriormente referidos, tornou-se necessário:

- Efectuar um levantamento de todos os componentes que eram particularmente atacados pelo Cloro;
- Fazer um levantamento dos estudos efectuados até à data, no que respeita à corrosão provocada pelo Cloro nesses materiais;
- Medir o tempo de degradação de cada componente e material, na prática;
- Proceder a uma adequada selecção de materiais, atendendo aos requisitos de cada produto/componente;
- Analisar os resultados comparativos de degradação de uns e outros materiais, quando expostos a concentrações excessivas de Cloro, para testes acelerados de corrosão;
- Atendendo às funções desempenhadas por cada componente, estudar a possibilidade de realização do mesmo em materiais alternativos, que possam oferecer melhores condições de resistência à corrosão provocada pelo Cloro;
- Análise custo-benefício da possível substituição dos materiais;
- Implementação de algumas das novas soluções e verificação, por análise comparativa, dos benefícios da sua aplicação.

1.3. Metodologia

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia que seguidamente se descreve:

- Estudo do estado da arte referente à matéria em causa, nomeadamente a estudos de corrosão efectuados sobre diferentes materiais, iguais ou idênticos aos utilizados nas instalações em análise;
- Medição do tempo de vida útil de diferentes componentes utilizados nas referidas instalações, e que sejam habitualmente atacados de forma severa pelo Cloro, com a respectiva identificação do material em causa;
- Pesquisa e selecção de materiais alternativos para cada caso, tendo como particular foco a melhoria da resistência à corrosão provocada pelo Cloro;
- Elaboração de testes comparativos de corrosão acelerada pelo Cloro dos materiais anteriormente usados e daqueles que se pretende passar a usar;
- Análise custo-benefício das soluções encontradas, tendo em conta o tempo de vida útil de cada solução e os respectivos custos de substituição;
- Redacção da presente Dissertação.

1.4. Estrutura

A estrutura deste trabalho está assente essencialmente em duas partes: uma Revisão Bibliográfica inicial, onde se pretende enquadrar o leitor com os temas envolvidos nesta dissertação, passando em revista os desenvolvimentos técnicos e científicos que foram publicados em livros e periódicos científicos dedicados à matéria, e o Desenvolvimento do Trabalho Prático propriamente dito, com referência à forma como o trabalho evoluiu, metodologias utilizadas, ensaios efectuados, resultados obtidos e respectivas conclusões.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Instalações municipais: Breve introdução

2.1.1. Evolução das instalações municipais nas últimas décadas

Nas últimas décadas, tem-se assistido a um grande desenvolvimento de instalações municipais, que se tem traduzido pela construção de novas piscinas, pavilhões multiusos, estações elevatórias de águas residuais, estações de tratamento de água para consumo humano, e também pela renovação de algumas dessas instalações já existentes.

Esta evolução, estando também relacionada com o desenvolvimento da prática desportiva, não só a nível da competição mas também ao nível do lazer e da diversão, faz com que o número de utentes de uma piscina, assim como usuários de pavilhões multiusos se alargue, deixando de ser limitado a crianças e adolescentes, sendo nos dias de hoje normal vermos também bebés e pessoas idosas em piscinas.

Podemos constatar que este é um ponto fundamental que reflecte a importância de uma piscina, sendo o único equipamento desportivo comunal susceptível de acolher o conjunto da população, qualquer que seja a idade, a sua forma física e a sua categoria sócio-profissional. Por outro lado, cada vez mais a população vai aderindo, tornando-se cada vez mais exigente.

Instalações como estações de tratamento de água para consumo humano (E.T.A.) e estações de tratamento de águas residuais (ETAR) também tem sofrido uma importante evolução nas últimas décadas, traduzida pelo aumento de reservatórios de distribuição de água, estações de tratamento de água para consumo humano e estações elevatórias de saneamento. Este alargamento deve-se ao aumento do consumo populacional, devido a um conjunto de factores como a construção de novas habitações, piscinas, facilidades e rapidez com que se consegue efectuar ligações da rede publica para uma habitação, etc.. Assim como no caso das piscinas, o abastecimento e tratamento de águas tem-se tornado um serviço publico cada vez mais procurado, aumentando cada vez mais a exigência da população.

Torna-se então de extraordinária importância a maneira como é concebido e projectado este tipo de instalações, pois representando um investimento bastante elevado, são também instalações complexas por natureza, devido à diversidade de tecnologias necessárias, parâmetros de funcionamento extremamente exigentes, e uma alargada gama de equipamentos e materiais.

Resulta desses factos que este tipo de instalações deve ser o resultado de uma profunda reflecção e debate entre os promotores, procurando-se adaptar o edifício de modo a dar resposta aos objectivos pré-definidos, garantindo no entanto o conforto e optimizando os custos de exploração.

2.1.2. O caso particular das Estações de Tratamento de Águas

Neste capítulo, serão apresentados os principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos utilizados para avaliar a qualidade da água destinada ao consumo humano e susceptíveis de provocar corrosão. No meio de inúmeros parâmetros, podemos destacar os seguintes [1, 2]:

2.1.2.1. Temperatura

O aumento da temperatura facilita as reacções de oxidação biológica e, por consequência, uma diminuição do teor de oxigénio dissolvido. Esta diminuição, provocada pela aceleração dos fenómenos de biodegradação aeróbica, ocorre juntamente com uma diminuição da solubilidade de oxigénio, que pode conduzir a uma situação critica que se traduz pela acumulação de compostos de H_2S, SO_2, CH_4, matérias orgânicas parcialmente oxidadas, etc.

Este parâmetro desempenha um papel muito importante na solubilidade dos sais e, principalmente, dos gases, assim como na determinação da condutividade e do pH.

A eficiência dos métodos de tratamento e purificação de águas pode ser bastante afectada pela temperatura, sendo, por exemplo, a filtração mais eficiente no inverno do que no verão e a cloragem, pelo contrário, mais eficiente no verão.

Estas são algumas das acções que podem provar ataques corrosivos de maior ou menor importância.

2.1.2.2. Turvação

A turvação de uma água é dada pela dificuldade que esta tem em transmitir luz, sendo causada por diversos materiais em suspensão, de dimensão e natureza variadas, tais como:

- Lamas;
- Areias;
- Matérias orgânicas e inorgânicas finamente divididas;
- Compostos clorados solúveis;

- Organismos microscópicos.

É normalmente expressa em termos de unidades de turbidez (NTU).

A importância da turvação deve-se principalmente às seguintes razões:

- Filtração: em tratamento de águas, a filtragem torna-se mais difícil, ou mesmo mais onerosa, com o aumento da turvação;
- Desinfecção: a desinfecção da água é tanto mais difícil quanto maior é a sua turvação, visto que esta diminui o contacto do desinfectante com os microorganismos a eliminar.

A turvação pode ser removida por coagulação/floculação, decantação e/ou filtragem.

2.1.2.3. Sólidos dissolvidos

Sólidos dissolvidos são expressões que se referem a sais inorgânicos ou matéria orgânica dissolvida na água. Os principais aniões inorgânicos dissolvidos na água incluem:

- Carbonatos;
- Cloretos;
- Sulfatos e nitratos.

Destacam-se também os catiões mais importantes, tais como:

- Sódio;
- Cálcio;
- Magnésio.

Em termos de tratamento, a redução de um teor elevado de sólidos dissolvidos, requer a adopção de processos com elevados custos. Sólidos dissolvidos em excesso não são aconselháveis nas águas para consumo humano, pelos seguintes motivos:

- Efeitos fisiológicos;
- Sabor desagradável;
- Custos.

Os custos referem-se principalmente ao tratamento e distribuição que se tornam mais elevados, devido a problemas de incrustações, corrosão e a necessidade de tratamentos adicionais.

2.1.2.4. Condutividade

A condutividade mede a capacidade da água conduzir a electricidade. Esse parâmetro é função da quantidade de sais minerais, assim como electrólitos fortes e fracos, dissolvidos normalmente em pequenas quantidades, podendo, devido a estes factores acelerar os possíveis ataques corrosivos.

Os sais dissolvidos são principalmente carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, fosfatos e, eventualmente, nitratos, cálcio, magnésio, sódio, potássio, assim como vestígios de ferro, manganês e outras substâncias.

A temperatura é um factor que altera bastante a condutividade da solução. Este factor e a dureza da água estão geralmente relacionados, já que os sais de cálcio e magnésio são os mais abundantes na natureza. Desta forma, a condutividade fornece boas indicações ao distribuidor sobre a totalidade de sais dissolvidos na água de distribuição, sendo que uma alteração deste valor pode ser indicativo, por exemplo de rupturas da rede.

2.1.2.5. pH

O pH de uma água natural depende da concentração de CO_2, em consequência da mineralização dos sais presentes na água, e da composição dos terrenos atravessados. Desta forma, o pH alcalino indica que estes são calcários e um pH ácido que são siliciosos.

Uma evacuação com um pH ácido provoca a dissolução dos metais pesados, pelo contrário, se o pH for alcalino, estes precipitam-se. Um pH demasiado baixo torna a água agressiva, podendo dissolver metais pesados e outras substâncias nocivas à saúde humana, das canalizações e acessórios, provocando corrosão de tubagens e equipamentos, enquanto um pH demasiado elevado pode comprometer a desinfecção, podendo provocar incrustações.

O pH é um parâmetro de elevada importância no que diz respeito a ataques corrosivos, afectando também a eficiência dos processos de tratamento como a cloragem e a coagulação.

2.1.2.6. Alcalinidade

A alcalinidade corresponde à soma total dos componentes na água que provocam uma elevação do pH, acima de um determinado valor (geralmente 4,5), sendo devida principalmente à presença de sais de ácidos fracos e/ou bases fortes ou fracas, capazes de

neutralizar ácidos. Este parâmetro tem um efeito directo sobre a toxicidade de alguns poluentes na água e é provocada pela presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, correspondendo às três formas de alcalinidade, e, em menor grau, de boratos, silicatos, fosfatos e substâncias orgânicas.

A proveniência e natureza dos iões que contribuem para a alcalinidade têm uma relação directa entre as formas de alcalinidade presentes e o valor de pH da água.

A alcalinidade está geralmente associada a valores elevados de pH, com a dureza e com excessos de sólidos dissolvidos, todos estes podendo ser prejudiciais.

A alcalinidade de uma água afecta a quantidade de produtos químicos que é necessário adicionar à coagulação, amaciamento e controlando a corrosão de sistemas de distribuição.

2.1.2.7. Cloro

O cloro reage com a maior parte dos metais, em particular com agentes redutores, materiais combustíveis, alguns metais em pó e outras substâncias como acetileno, hidrogénio, amónia, hidrocarbonetos e matérias orgânicas. Esta substância pode reagir violentamente quando entra em contacto com produtos inflamáveis, materiais orgânicos e metais em pó. O cloro em gás deve ser armazenado em locais secos, tendo em conta que apresenta acção corrosiva sobre alguns materiais na presença de humidade, como no caso do titânio. O cloro é um composto altamente reactivo, reagindo rapidamente na atmosfera, no solo e com a matéria orgânica. Na água, o cloro irá formar ácido hipocloroso e hipoclorito, quando se encontra com um pH adequado a qualquer uma dessas situações. Quando este é descarregado para o esgoto, a reacção com impurezas irá formar cloraminas. Tratando-se de uma estrutura inorgânica, o cloro não é biodegradável. Devido à sua enorme solubilidade, os cloretos são encontrados em quase todas as águas naturais. Contudo, valores de 100 mg/l ou superiores, apenas se encontram em águas com características especiais, muitas das vezes acompanhados de outros sais neutros, como sulfato de sódio e de magnésio. O cloro é muito influente nos ataques corrosivos também devido ao facto de ser um excelente electrólito. Este parâmetro será abordado mais detalhadamente em capítulos posteriores.

2.1.2.8. Sulfatos

O teor de sulfatos nas águas destinadas a abastecimento público, não é extremamente alterado pelos tratamentos convencionais que estas águas sofrem.

Teores elevados podem provocar a degradação do betão, podendo também provocar odores desagradáveis se o teor de oxigénio dissolvido no local de captação baixar.

Este é um dos iões que mais contribui para a salinidade das águas. O sulfato existente em águas naturais tem origem na dissolução de minerais como o gesso, ou na oxidação de minerais contendo sulfureto.

Como o ião sulfato tem tendência a formar sais com os metais pesados dissolvidos na água, e sendo o produto de solubilidade destes sais muito baixo, contribui significativamente para a diminuição da toxicidade.

Embora os sulfatos não sejam prejudiciais à saúde até ao valor paramétrico de 250 mg/L (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano), a qualidade higiénica das águas baixa à medida que a sua quantidade aumenta, tornando-se corrosivas.

2.1.2.9. Oxigénio dissolvido

Uma boa qualidade da água requer uma determinada quantidade de oxigénio dissolvido, sendo este o gás mais importante na química da água, tendo um papel fundamental nos processos de corrosão, fenómenos biológicos, etc.

Quando o oxigénio está presente em baixas quantidades, representa uma má qualidade da água, a qual pode ser devida a problemas de contaminação na distribuição de água, particularmente de microorganismos. As águas superficiais não poluídas estão geralmente saturadas de O_2, pelo contrário, sempre que as águas estão contaminadas, a sua concentração é inferior à de saturação, podendo mesmo, no caso de águas muito poluídas, verificar-se a ausência total de O_2.

Quando a temperatura se torna mais elevada, o teor de oxigénio diminui devido à sua baixa solubilidade, mas também devido ao aumento do consumo provocado pelos seres vivos e pelas bactérias que se multiplicam mais facilmente. Estas modificações podem ocasionar gosto e odores desagradáveis.

A desvantagem associada a grandes quantidades de oxigénio dissolvido, é um aumento da velocidade de corrosão das superfícies dos materiais, principalmente metais, tanto em estações de tratamento de água e rede de distribuição, como em piscinas. Esta corrosão pode aumentar a concentração de ferro, assim como outros metais, que podem provocar gosto e coloração na água.

2.1.2.10. Ferro

O ferro encontra-se em muitos minerais de forma abundante, podendo ser dissolvido em água. Na presença de oxigénio dissolvido, o ferro é oxidado e precipita sob a forma de $Fe(OH)_3$, precipitado de cor amarelada ou ocre, produzindo depósitos, no entanto, ocasionalmente, precipita-se oxido de ferro Fe2O3, tornando as águas de cor vermelha.

Quando oxidado, estando num intervalo de pH entre 7 e 8.5, o ferro é praticamente insolúvel. Em água distribuída, o ferro presente pode ter origem na corrosão das canalizações. A presença de ferro na água permite o desenvolvimento de bactérias filamentosas, designadas por "bactérias do ferro". Estes organismos podem desenvolver-se nas canalizações em quantidades suficientes para as obstruir, ao mesmo tempo que as corroem e produzem a denominada "tuberculose dos canos", de origem bacteriana.

2.1.2.11. Alumínio

Embora seja um dos principais constituintes da crosta terrestre, não é abundante em águas naturais, devido à baixa solubilidade do seu hidróxido.

O alumínio poderá apresentar-se com concentrações anormais nas águas tratadas, devido a arrastamentos descontrolados nos decantadores associados a uma má filtração, quando se usa sulfato de alumínio ou aluminato de sódio como coagulantes.

O alumínio encontra-se em muitas águas de abastecimento e piscinas, em muito pequenas quantidades, sob forma de sais solúveis, de compostos coloidais ou ainda de compostos insolúveis.

Uma concentração elevada de alumínio na água indica que as instalações não estão a funcionar correctamente e que a eliminação de organismos patogénicos pode não ser completa.

2.1.2.12. Dureza

Inicialmente, a dureza de uma água era dada pela sua capacidade de precipitar sabões, que é uma propriedade dos catiões metálicos polivalentes. Visto que entre estas espécies, o cálcio e o magnésio estão normalmente em quantidades muito superiores aos restantes, define-se geralmente a dureza como a soma destes dois catiões, sendo normalmente expressa em carbonato de cálcio (mg/l $CaCO_3$).

Designa-se dureza total a quantidade de sais de cálcio e magnésio dissolvidos na água da seguinte forma:

- Dureza temporária: dureza correspondente aos hidrogenocarbonatos e carbonatos;
- Dureza permanente: dureza resultante da presença dos sulfatos, cloretos e nitratos.

2.1.3. O caso particular das Piscinas

É de elevada importância tratar a água de uma piscina, podendo esta estar contaminada e não reunir condições de salubridade, mesmo que se apresente límpida e sem cheiros desagradáveis. Para uma piscina ser utilizada sem perigo para a saúde dos banhistas, a água deve estar sempre limpa e desinfectada. Sempre que se renova a água ou a piscina fique sem uso durante um grande período de tempo, é provável que a água apresente uma elevada quantidade de bactérias ou microorganismos nocivos para a saúde, sendo nestes casos necessário efectuar um tratamento rigoroso. Quando a água estiver suja, recomenda-se a remoção mecânica das impurezas e quando estiver turva, a realização de um tratamento físico-químico, de forma a permitir a purificação da água.

Tendo em conta que as piscinas municipais de Vale de Cambra são abastecidas directamente por água da rede municipal, proveniente da estação de tratamento de água, também em estudo, todos os factores acima mencionados irão influenciar o meio presente nas piscinas no que toca à corrosão. Contudo, devido a alguns produtos serem utilizados em concentrações diferentes, convém referir alguns parâmetros, que podem diferenciar a E.T.A das piscinas municipais tais como [3] :

2.1.3.1. Cloro

Uma reclamação constante de pessoas que frequentam piscinas públicas é o forte cheiro a cloro presente no seu interior, principalmente em piscinas cobertas. Na realidade, o “ácido hipocloroso”, mais conhecido por “cloro livre”, não tem cheiro se for adicionado a água em concentrações até 20 ppm, sendo importante referir que o máximo recomendado numa piscina é de 3 ppm. Este cheiro forte deve-se à formação de compostos denominados “cloraminas”, formados pela reacção entre o “ácido hipocloroso” e o catião amónio libertado pela urina ou pela transpiração dos banhistas. Contudo, para a segurança dos banhistas, a adição de cloro ou outro desinfectante na água é indispensável, sendo o elemento que elimina

os microorganismos da água, oxida a matéria orgânica e os metais nela dissolvidos, inibe cheiros desagradáveis e previne a transmissão das mais diversas doenças infecciosas como a hepatite, otite, micoses, etc. O cloro é o desinfectante mais utilizado na desinfecção de águas, devido à sua elevada facilidade de manipulação, sem que haja grande perigo de toxicidade e ao seu baixo custo.

2.1.3.2. pH

O pH é um dos factores com mais importância para se obter uma boa qualidade da água. O pH ajustado numa faixa apropriada, assegura uma acção eficaz dos produtos químicos como a acção do cloro e evita problemas com água turva, proporcionando um maior conforto aos banhistas e ajudando ao mesmo tempo a prevenir a ocorrência de processos corrosivos.

A correcção do pH é efectuada através da adição de produtos químicos, para que a água não se torne excessivamente ácida. A acidez possibilita a corrosão de tubagens e equipamentos, no entanto, correntes excessivamente alcalinas podem provocar incrustações e outros problemas em sectores de circulação de água. Um pH inadequado também pode causas mau estar nos banhistas, como irritação na pele e nos olhos.

2.1.3.3. Algicida

Algas são criptógamas celulares que não dependem da matéria orgânica para a sua alimentação, vivendo pela luz solar, gás carbónico e substâncias minerais contidas na água. A presença de algas na piscina aumenta consideravelmente as quantidades de cloro necessárias para a desinfecção, impossibilitando a existência de cloro residual necessário à esterilização durante o uso, provocando turvação e proporcionando meios para o desenvolvimento de bactérias e cheiros desagradáveis, deixando posteriormente as paredes e os pisos escorregadios. Para eliminar e prevenir as algas nas piscinas, adicionam-se pequenas quantidades de algicida. É importante referir que, com maior ou menor peso, todos estes factores influenciam o processo corrosivo.

2.1.3.4. Limpeza e purificação

Por vezes, em piscinas descobertas, a água apresenta-se suja por folhas, insectos, etc. Nestas situações, deve-se retirar todas as impurezas com uma peneira. No caso da água se apresentar turva, esta deve ser tratada de modo a retirar-se os sólidos em suspensão. Neste caso, é adicionado sulfato de alumínio ou outro agente equivalente, que aumenta a acidez da água. De forma a posteriormente diminuir a acidez, adiciona-se carbonato de sódio ou outro elemento equivalente, que irá possibilitar a formação de hidróxido de alumínio, sendo ela uma substância gelatinosa que tem a propriedade de retirar do meio liquido todos os sólidos em suspensão. Após 3 a 4 horas de se efectuar este tipo de tratamento, tempo necessário para

que toda a "massa gelatinosa" se deposite no fundo, é necessário retirá-la por aspiração. É importante referir que a acidez da água é um dos factores que influenciam a corrosão.

2.2. O Cloro

2.2.1. Caracterização do Cloro

O cloro, cujo símbolo químico é Cl, pertence ao grupo 17 da tabela periódica, sendo esse também o seu número atómico. O elemento foi isolado pela primeira vez em 1774 pelo químico sueco Carl Wilhem Scheele, que julgava tratar-se de um composto. Em 1810, o químico britânico Humphry Davy atribui a denominação "CLORO" a este elemento, após ter demonstrado que não se tratava de um composto.

Este elemento foi o primeiro gás a ser utilizado como uma arma química durante a primeira grande guerra.

Em condições temperatura ambientes e pressão atmosférica, o cloro é um gás irritante que apresenta uma cor amarelo-esverdeado e é comercializado geralmente em cilindros de aço na forma de líquido sob pressão, sendo que este se torna líquido a 6,8 atmosferas e a 20ºC.

Nas tabelas 1 e 2 podemos verificar as propriedades físicas e térmicas do cloro.

Propriedades físicas

Peso atômico		35,46 u
Peso molecular		70,91 u
Densidade	Líquido	1561 kg/m^3 , a -35 ° C
		1468 kg/m^3 , a 0 ° C
		1410 kg/m^3 , a +20 ° C
	Gás	3214 kg/m^3 , a 0 ° C / 760 mm Hg [Densidade relativa, a 20 ° C , em relação ao ar = 2490 kg/m^3]
Ponto de ebulição, a 760 mm Hg		-34,05 ° C
Ponto de fusão		-101 ° C
Pressão de vapor, a 20 ° C		6,7 bar
Observações:		
1 volume de cloro líquido = 457 volumes de cloro gasoso, a 0 ° C / 760 mm Hg		
1 kg de cloro líquido = 0,315 m^3 de cloro gasoso, a 0 ° C / 760 mm Hg		

Figura 1 – Tabela com as propriedades físicas do cloro

Propriedades térmicas

Calor específico	Cloro líquido, entre 1 e 27 º C	0,236 kcal / kg / º C
	Gás, a pressão constante (6,8 atm.), entre 1 e 27 º C	0,113 kcal / kg / º C
Calor latente de fusão		21,6 kcal / kg
Calor latente de vaporização, a 0 º C		63,2 kcal / kg
Coeficiente de expansão volumétrica, do cloro líquido, a 20 º C		0,0021 por º C
Calor de reação do cloro com solução de hidróxido de sódio		348 kcal / kg de cloro

Figura 2 – Tabela com as propriedades térmicas do cloro

É muito comum as pessoas terem dúvidas sobre as definições entre cloro e hipoclorito de sódio, sendo que os dois são utilizados para desinfecção da água. No entanto existem diferenças desde o método de obtenção até as concentrações utilizadas. **O cloro** "Cl" tem um teor de cloro de 100% e é obtido por meio da electrólise da solução de Cloreto de sódio. O cloro apresenta-se inicialmente sob forma de gás, transformando-se em líquido após diminuir a temperatura e se comprimir. Desta forma, o cloro é utilizado por exemplo para branqueamento de celulose, fabricação de PVC e para produtos de tratamento de água, quer para consumo humano, quer para piscinas. O cloro também é utilizado como matéria-prima na produção de cloreto de hidrogénio, ácido clorídrico, dicloroetano, e **hipoclorito de sódio** (NaClO). Este último é obtido através de uma reacção entre o cloro e uma solução diluída de soda-cáustica. O hipoclorito de sódio é sobretudo utilizado pelo sector industrial na produção de desinfectantes. É apresentado num estado líquido, podendo atingir um teor de cloro de 10% a 15% [4].

A B

Figura 3- Cloro em gás (A) e hipoclorito de sódio utilizado na E.T.A. de Vale de Cambra

2.2.2. O efeito do Cloro na água

A desinfecção de água é uma acção praticada há milhares de anos. Embora não sendo muito bem conhecidos os métodos utilizados, há indícios que no ano 500 a.C., já era recomendado ferver a água. Nessa época, acreditava-se na transmissão de doenças através de odores. Surgiu então a desinfecção da água e dos esgotos como uma tentativa de se controlar a propagação dessas doenças, até que em "Louis Pasteur, 1880" estabeleceu a teoria dos microorganismos.

A desinfecção da água tem como objectivo a destruição ou inactivação de organismos patogénicos capazes de produzir doenças, ou de quaisquer outros organismos indesejáveis. Existem vários parâmetros a ter em atenção na desinfecção da água, como a temperatura, pH, turbidez, oxigénio, nutrientes, competição com outros organismos, resistência a substâncias tóxicas, etc. Estes factores têm efeitos na sobrevivência desses organismos, podendo fazer com que não sejam destruídos no intervalo de tempo desejado, podendo sobreviver na água por vários meses, no caso da temperatura da mesma ser baixa, por exemplo. Temos que ter em conta vários factores quanto realizamos uma desinfecção da água, que podem ser resumidos em:

- Espécie e concentração do organismo a ser destruído;
- Espécie e concentração do organismo;
- Tempo de contacto;

- Características químicas da água;
- Grau de dispersão do desinfectante na água.

Os desinfectantes químicos devem ser uniformemente dispersos na água para garantir uma concentração uniforme, contudo, a acção desses desinfectantes não é instantânea para a destruição ou inactivação dos microorganismos, é realizado um processo com varias etapas, sendo estas físicas, químicas e bioquímicas. Numa estação de tratamento de água convencional (E.T.A.), as etapas de sedimentação, coagulação e filtragem removem parte dos organismos patogénicos e outros organismos presentes na água.

A desinfecção da água através de cloro iniciou-se com a aplicação do hipoclorito de sódio (NaClO), obtido através da decomposição electrolítica do sal, como já foi referido anteriormente. Inicialmente, o cloro era somente utilizado na desinfecção da água em casos de epidemias. Em 1902, na Bélgica, passou a ser utilizado um método de cloração continua, até passar a ser utilizado em 1909 o cloro guardado em cilindros revestidos de chumbo. Nas décadas seguintes, houve uma grande expansão no uso do cloro líquido, seguindo-se o uso de cloraminas, adição conjunta de amónia e cloro, de modo a se conseguir obter um teor residual de cloraminas, visto que ainda não eram realizados testes específicos para a determinação do valor residual de cloro. Apenas na década de 1950 se determinou os métodos de cloro combinado e de cloro livre começando a cloração a ser baseada em controlos bacteriológicas.

No tratamento da água, o cloro pode ter três objectivos:

- Desinfecção;
- Oxidação;
- Desinfecção + Oxidação.

A desinfecção tem como objectivo a destruição dos microorganismos patogénicos e a oxidação tem como função alterar as características da água pela oxidação dos compostos nela existente, ou podem mesmo ser utilizadas ambas as acções. O cloro e os seus compostos são fortes agentes oxidantes. Geralmente a velocidade de reacção do cloro diminui com o aumento do pH e aumenta com o aumento da temperatura. Quando estas reacções acontecem com compostos inorgânicos redutores (sulfitos, nitrito…), são em geral muito rápidas. Temos de ter em atenção que certos compostos orgânicos também reagem rapidamente com o cloro, mas de um modo geral, são necessárias várias horas.

Quando o cloro é adicionado a uma água quimicamente “pura”, ocorre a equação 1:

$$Cl_2 + H_2O \leftrightarrow HOCl + H^+ + Cl^- \quad (1)$$

À temperatura ambiente, numa solução diluída de pH acima de 4, o equilíbrio da reacção é deslocado para a direita, ficando pouco Cl_2 em solução. O tempo de reacção é de décimos de segundo em valores de pH mais baixos, sendo a reacção predominante no sentido da formação do cloro.

O ácido hipocloroso (HOCl) é um ácido fraco, formado pela adição de cloro na água, o qual se dissocia rapidamente, controlando a acção desinfectante e oxidante do cloro (equação 2).

$$HOCl \leftrightarrow H^+ + OCl^- \quad (2)$$

O valor de pH tem uma enorme importância na água para a reacção do cloro, já que em solução aquosa são verificadas as seguintes reacções, mediante um determinado valor de pH:

- Inferior a 6, a dissociação deste ácido hipocloroso é fraca, sendo predominante a forma não-dissociada HOCl;
- Menor que 2, predomina o Cl_2;
- Próximo de 5, predomina o HOCl, tendo o Cl_2 desaparecido;
- Acima de 10, predomina a forma ClO.

Geralmente, a água para consumo humano apresenta valores de pH entre 5 e 10, predominando assim o ácido hipocloroso (HOCl) e o ião hipoclorito (OCl). O cloro existente na água sob estas mesmas formas, é definido como cloro residual livre.

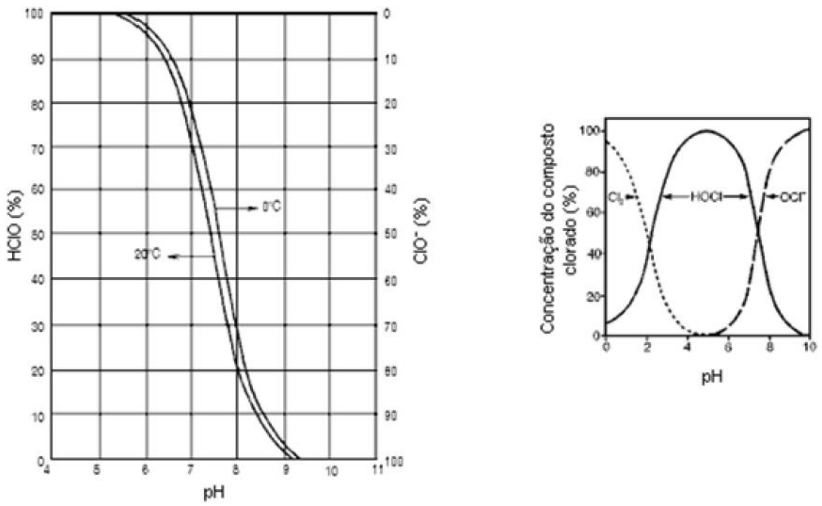


Figura 4 - Curvas de distribuição do cloro, ácido hipocloroso e ião hipoclorito em função do pH

O cloro também pode ser aplicado sob as formas de **hipoclorito de cálcio** e **hipoclorito de sódio**, que formam as equações 3 e 4, quando estão em contacto com a água:

$$Ca(OCl)_2 + H_2O \leftrightarrow Ca^{+2} + 2OCl^- + H_2O \quad (3)$$

$$NaOCl + H_2O \leftrightarrow Na^+ + OCl^- + H_2O \quad (4)$$

Uma parte do cloro disponível reage com a água para formar:

- Ião hipoclorito;
- Ácido clorídrico;
- Ácido hipocloroso.

O **ião hipoclorito** também cria um equilíbrio com o ião de hidrogénio, dependendo da concentração deste último (iões de hidrogénio) na água (pH). O **ácido clorídrico** formado, combina-se com a alcalinidade natural da água ou com a alcalinidade inserida para fins de tratamento, que por sua vez irá baixar o pH, tendo influência no grau de dissociação do **ácido hipocloroso.**

Quando existe amónia e seus compostos na água, o cloro adicionado forma compostos clorados activos, designadas cloraminas. O cloro presente sob forma de cloraminas é denominado por **cloro residual combinado**. Quando o cloro está sob a forma de ácido hipocloroso, junta-se à amónia existente na água, formando as equações 5, 6 e 7 [5]:

- Monocloramina (NH_2Cl);

$$NH_4^+ + HOCl \leftrightarrow NH_2Cl + H_2O + H^+ \quad (5)$$

- Dicloraminas ($NHCl_2$);

$$NH_2Cl + HOCl \leftrightarrow NHCl_2 + H_2O \quad (6)$$

- Tricloramina ou tricloreto de nitrogénio (NCl_3).

$$NHCl_2 + HOCl \leftrightarrow NCl_3 + H_2O \quad (7)$$

O cloro aplicado divide-se em cloro consumido e cloro residual, tendo este último por sua vez várias denominações:

- **Cloro disponível** é a avaliação do poder da oxidação de um composto de cloro, expresso em termos de cloro elementar;
- **Cloro residual livre** é o cloro presente na água sob as formas de ácido hipocloroso (HOCl) ou de ião hipoclorito (OCl^-);
- **Cloro residual livre disponível** é a avaliação do cloro residual livre em termos de cloro elementar;
- **Cloro residual combinado** é o cloro presente na água sob forma de mono, di e tricloraminas;
- **Cloro residual combinado disponível** é a medida do cloro residual combinado em termos de cloro elementar;
- **Cloro residual disponível** é a avaliação do cloro residual total, livre e combinado, em termos de cloro elementar.

Existem diversas formas para determinar o cloro residual na água, como por exemplo os processos colorimétricos de comparação visual através do **método de ortotolidina**, que reage com o cloro formando um complexo de coloração amarela, sendo utilizado com arsénio de sódio, o que permite distinguir o cloro residual libre e combinado. Este método tem como desvantagem ser um composto tóxico. Existe também o **método do DPD** (fig. 5), que avalia a quantidade de cloro, nas formas livre e combinada, devidos aos diferentes poderes bactericidas das duas formas. Este método é geralmente utilizado nas estações de tratamento de água, dando-se uma reacção com o cloro, originando uma cor roxa, a qual varia a sua intensidade mediante a concentração de cloro. Este método também é utilizado através de **espectrofotometria DPD.** Pode ser também determinado pelo método de **titulação com tiossulfato de sódio** (titulação de óxido-redução: iodometria) ou mesmo através de uma **solução caseira,** realizando uma mistura de cristais de iodeto de potássio, amido e vinagre. Quando se adiciona gotas desta solução numa amostra de água contendo cloro, esta deverá ganhar uma cor azulada. No caso da amostra não conter cloro, esta deverá permanecer incolor [6].

A B

Figura 5 - Método do DPD: amostra pronta para análise (A) e pastilhas para análise (B)

2.2.3. Concentrações de produtos usualmente utilizadas para cada tipo de aplicação

O cloro, assim como os restantes produtos de tratamento de água, não substituem em nenhuma situação o uso inteligente dos equipamentos acessórios da piscina ou E.T.A., tais como filtros, aspiradores, bombas de circulação, etc. Estes devem ser utilizados conforme as instruções dos fabricantes. Os reagentes deverão ser sempre adicionados separadamente e previamente dissolvidos ou diluídos na própria água, no interior de um recipiente de plástico, não sendo aconselhada a utilização de recipientes metálicos. A mistura dos reagentes no mesmo recipiente, além de perigoso, pode torná-los inutilizáveis. Após a adição dos reagentes, deve-se aguardar sempre o tempo adequado para a homogeneização completa dos mesmos na água.

Alguns produtos químicos podem ser perigosos, se forem utilizados indevidamente. As instruções dos fabricantes e fornecedores para a aplicação do produto devem ser lidas e seguidas, bem como as precauções que constam nas embalagens. O fabricante ou fornecedor deve ser sempre consultado em caso de dúvida. As quantidades prescritas devem ser seguidas rigorosamente, visto que quantidades a menos são inúteis, e quantidades excessivas podem prejudicar o tratamento da água.

Cuidados a ter com a utilização de produtos químicos:

- Conservar as embalagens bem fechadas após o uso e mantê-las longe de crianças e animais domésticos, em local fresco e seco;
- Nunca usar o conteúdo de embalagens sem rótulos;

- Nunca misturar os produtos químicos. Adicioná-los sempre separadamente;
- Adicionar sempre os produtos químicos à água e nunca o contrário;
- Lavar bem as mãos depois de mexer os produtos químicos. Recomenda-se o uso de luvas de plástico e de sapatos durante o contacto com os produtos;
- Lavar sempre as embalagens antes de deitá-las fora. As embalagens não devem ser queimadas;
- Usar sempre utensílios limpos, para contactar com os produtos químicos. Não usar utensílios metálicos, pois pode haver corrosão, contaminando assim o produto que está a ser doseado;
- A água usada para medir o pH e o cloro livre, não deve ser lançada de volta à piscina. Esta água deve ser colocada no esgoto, acompanhada de bastante água de lavagem;
- Não utilizar produtos químicos ou reagentes cujos prazos de utilização já expiraram.

2.2.3.1. E.T.A.

Na E.T.A. de Vale de Cambra, são utilizados quatro produtos entre os quais se encontra o cloro, os quais são fornecidos actualmente pela empresa "Quimitécnica – Comércio e Industria Química, S.A." situada no Parque Empresarial do Barreiro.

Os quatro produtos utilizados para o tratamento de água na E.T.A. de Vale de Cambra são os seguintes [1, 7]:

- Hipoclorito de sódio;
- Locron S®;
- Cal hidratada;
- Cloro.

2.2.3.1.1. Hipoclorito de sódio

Como já foi referido anteriormente, o hipoclorito de sódio é um líquido com coloração amarela, solúvel em água, em etanol e em acetona, com uma densidade superior ou igual a 1,2. O hipoclorito de sódio é principalmente utilizado para tratamento de água, indústria têxtil e da celulose e como agente desinfectante e germicida, sendo comercializado sob a forma de jerricans de 60 l, contentores de 1000 l e granel, podendo este último ser fornecido em cisternas até 25 ton.

No que diz respeito a armazenagem deste produto, é recomendado que seja mantido nas embalagens fechadas em locais bem ventilados, ao abrigo de luz solar directa, e afastado de fontes de calor e de substâncias incompatíveis, como ácidos, produtos orgânicos, compostos azotados, matérias combustíveis e agentes redutores de metais tais como o cobre, níquel, cobalto, etc., sendo quimicamente estável quando se reúnem estas condições. O hipoclorito de sódio degrada-se facilmente em meio aquático, oxidando os materiais orgânicos e inorgânicos em solução.

Recomenda-se que as concentrações de hipoclorito de sódio estejam compreendidas entre 0,2 e 0,6 mg/l de cloro residual livre, em qualquer ponto da rede de distribuição. A determinação deste parâmetro não é obrigatória nas situações previstas no nº3 do artigo 9º do Decreto-Lei nº 306/2007. A injecção de hipoclorito de sódio, assim como qualquer outro produto químico, não pode ser feito directamente nos tanques de armazenamento. Assim sendo, as instalações de tratamento devem dispor de sistemas para o doseamento e injecção das soluções nos circuitos das tubagens de recirculação ou na conduta da água para o reservatório. Os sistemas de doseamento de reagentes, constituídos por reservatórios para preparação das soluções e por bombas doseadoras reguláveis e de funcionamento automático, são previstos e dimensionados com as capacidades adequadas às necessidades da instalação e aos produtos utilizados. O hipoclorito de sódio pode ser mais ou menos diluído, também através da experiência do operador, visto que o doseamento apenas será iniciado quando o eléctrodo detectar um valor mínimo pretendido pelo operador, e finalizado quando atingir um valor máximo também pretendido pelo mesmo.

Na figura 6, podemos visualizar um esquema e uma instalação real de funcionamento de um sistema de doseamento que pode ser utilizado para hipoclorito de sódio, assim como para muitos outros produtos químicos.

B B

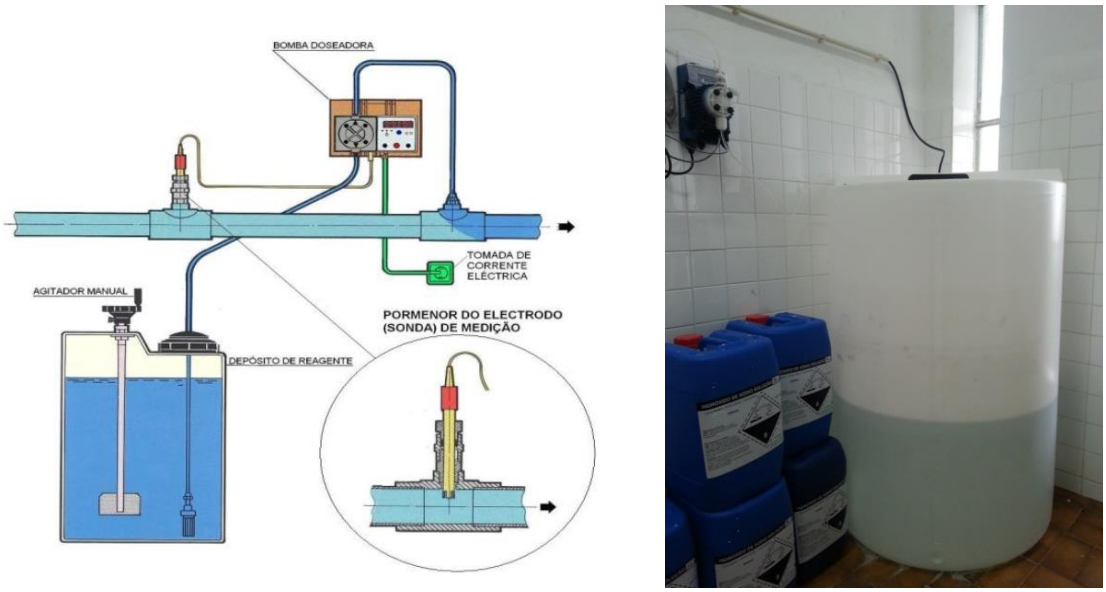


Figura 6 – Esquema (A) e caso real (B) de um sistema automático para doseamento de produtos químicos

2.2.3.1.2. Locron S®

O Locron S é um floculante especialmente formulado para o tratamento de água potável, industrial e residual. Trata-se de uma solução a 50% de produto à base de hidroxicloreto de alumínio. Este produto tem forma de pó e possui a seguinte composição química e propriedades:

Tabela 1- Composição química e propriedades do Locron S®

Composição do Locron S®	
Teor de Al_2O_3	Aprox. 48%
Basicidade	Aprox. 83%
Cloro	Aprox. 16,3%
Composição média	$Al_2(OH)_5Cl.2\text{-}3\ H_2O$
Miscibilidade	É possível misturar com a água até 60% em massa (aprox.)

Este produto reage a valores de pH superiores a 5, provocando a precipitação dos compostos de hidróxido de alumínio. É de salientar o uso de Locron S na clarificação de água por floculação. Devido à sua estrutura de complexo polinuclear de alumínio, este produto forma rapidamente aglomerados de flocos, melhor e de forma muito mais rápida do que os sais monoméricos solúveis de alumínio, tais como o sulfato de alumínio. Esta propriedade torna o Locron S num produto particularmente adequado para todos os tipos de reacções de floculação. A combinação de floculação e filtragem através de filtros de areia, por exemplo, produz um efeito de clarificação excelente. Através da utilização de Locron S, é possível remover da água as seguintes substâncias:

- Matérias minerais em suspensão;
- Partículas coloidais;
- Ácidos húmicos;
- Gorduras e óleos;
- Iões metálicos;
- Germes e outros microorganismos;
- Residual de alumínio praticamente nulo, mesmo com valores de pH acima de 9.

Pode-se igualmente referir os seguintes comportamentos:

- Não altera praticamente o valor de pH da água a tratar;
- Dosagens entre 3 a 6 vezes inferiores, dependendo da qualidade da água a tratar. A remoção de ingredientes orgânicos reduz significativamente os valores da carência química de oxigénio (CQO) e a carência bioquímica do oxigénio (CBO).

O Locron S pode ser fornecido em *big bags* de 1000 kg e em sacos de 25 Kg, sendo este último adoptado pela E.T.A. de Vale de Cambra.

A preparação da solução é feita manualmente em dois tanques situados no piso R/C da estação com volume unitário de 6 m^3, equipados com electroagitadores. A quantidade a utilizar depende do grau de contaminação da água.

O doseamento é efectuado através de duas electrobombas doseadoras de membrana, também situadas no piso do R/C, com a capacidade unitária máxima de 180 l/h (fig. 7).

A B C

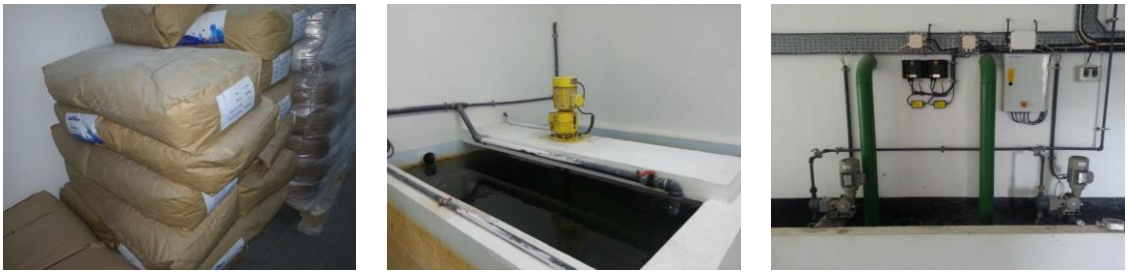


Figura 7 – Produto (A), tanque (B) e bombas doseadoras (C) do sistema automático para doseamento de Locron S

O coagulante é injectado na conduta elevatória à entrada da E.T.A. A ordem de arranque e paragem da cada bomba doseadora, é dada pelo nível atingido no tanque da solução de sulfato de alumínio, e a dosagem é efectuada em função do caudal registado pelo caudalimetro à entrada da E.T.A., funcionando apenas quando o grupo electrobomba de captação estiver também em funcionamento.

2.2.3.1.3. Cal hidratada

No tratamento da água é utilizado leite de cal. Essa solução é injectada na câmara de mistura rápida e na água filtrada, para se acertar o valor de pH.

A cal utilizada é fornecida em sacos de 20 kg e em pó, também conhecida por “cal morta”. A preparação do leite de cal é feita manualmente em tanques de 6 m^3, situados no piso R/C, junto aos tanques contendo Locron S®, e são também estes equipados com electroagitadores (fig.8). O doseamento é efectuado por quatro electrobombas doseadoras, também situados no piso R/C, com capacidade unitária de 154 l/h, sendo divididas em dois pontos de tratamento:

- Duas electrobombas doseadoras para injectar leite de cal à entrada da E.T.A.;
- Duas electrobombas doseadoras para injectar leite de cal na água filtrada.

Em ambos os pontos, o doseamento é efectuado em função dos valores de pH.

A B C

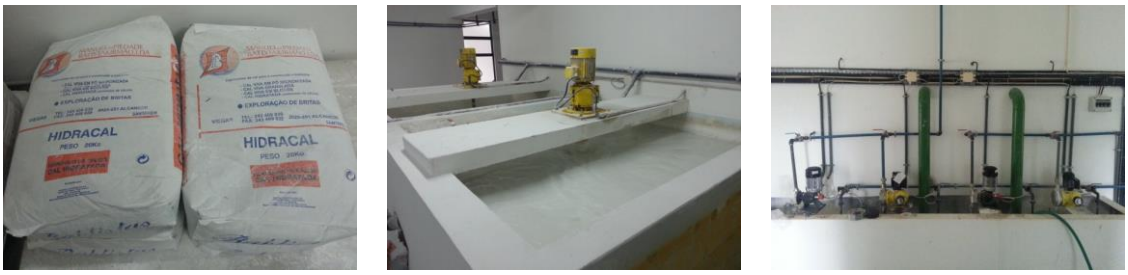


Figura 8 – Produto (A), tanque (B) e bombas doseadoras (C) do sistema automático para doseamento de leite de cal

O sistema de dosagem de leite de cal foi dimensionado para funcionar com uma bomba doseadora em simultâneo com o grupo electrobomba da captação. As bombas doseadoras de leite de cal só funcionam quando é atingido o nível mínimo na sonda de nível, instalada nos tanques de leite de cal (contacto da bóia invertido). As ordens de arranque e paragem das bombas doseadoras são dadas pelo valor de pH lido no medidor instalado à entrada da E.T.A (fig. 9).

Figura 9 - Sonda de pH à entrada da E.T.A.

2.2.3.1.4. Cloro

Na E.T.A. de Vale de Cambra, o doseamento de cloro é efectuado através de água clorada, variando a concentração consoante as necessidades do momento. Para o devido efeito, existem dois clorómetros independentes para a adição à entrada (pré-cloragem) e à saída (cloragem final), com caudal regulável até 500 g/h (fig. 11).

A água necessária para cloragem provém da rede de água de serviço existente na instalação, a qual é alimentada pelos grupos electrobomba verticais situados no piso -1, que aspiram a água do reservatório de água tratada.

A dosagem de cloro na pré-oxidação pode oscilar entre 2 e 3 ppm. No que diz respeito a desinfecção final, sabendo que a água que chega ao consumidor não deve ter uma concentração de cloro livre residual superior a 0,2 ppm, é recomendado que a água tratada tenha uma concentração próxima de 1 mg/l Cl_2.

A B

Figura 10 – Reservatórios (A) e sistema automático de doseamento (B) de cloro em gás

O sistema de cloragem está situado na zona de químicos no piso R/C, promovendo a injecção de cloro na conduta de entrada e saída da E.T.A.

Na conduta de entrada da E.T.A., com o objectivo da pré-oxidação da água, o sistema de cloragem, é constituído pelos seguintes equipamentos:

- 1 Clorómetro;
- 2 Reguladores de caudal de cloro;
- 1 *Change-over* (troca de garrafas automático);
- 1 Válvula automática de água clorada;
- 1 Electroválvula de água clorada.

As ordens de abertura e fecho de electroválvula são dadas através dos valores seleccionados no analisador de cloro residual, sempre que os grupos electrobomba da captação estejam em funcionamento.

Na conduta à entrada dos reservatórios de água tratada da E.T.A. (saída), o sistema de cloragem é constituído pelos seguintes equipamentos:

- 1 Clorómetro;
- 2 Reguladores de caudal de cloro;
- 1 *Change-over* (troca de garrafas automático);
- 1 Electroválvula de água clorada.

Ainda na zona dos químicos, está instalado um transmissor para detecção de fugas de cloro, que funciona através de duas sondas instaladas, sendo uma na zona de químicos e outra na sala onde estão instaladas as garrafas de cloro. Em caso de fuga de cloro, o transmissor irá activar o ventilador de cloro situado entre a zona de químicos e o local onde estão instaladas as garrafas.

2.2.3.2. Piscinas

Nas piscinas municipais de Vale de Cambra, são também utilizados quatro produtos, fornecidos actualmente pela empresa “SIQ – PRODUTOS QUÍMICOS”, com sede em Loures. Esta empresa possui uma diversificada gama de produtos de higiene e limpeza, assim como desinfectantes que têm como um dos principais clientes-alvo as entidades municipais.

Os produtos utilizados para o tratamento de água nas piscinas municipais de Vale de Cambra são os seguintes:

- Cloro granulado de dissolução rápida;
- Floculante clarificador concentrado;
- Incrementador de pH;
- Algicida bactericida.

2.2.3.2.1. Cloro granulado de dissolução rápida

O cloro granulado utilizado nas piscinas municipais de Vale de Cambra é o **SIQ AG CLOR 60 A PLUS.**

A B

Figura 11 – Aspecto da embalagem (A) e do produto (B) Cloro granulado SIQ AG CLOR 60 A PLUS

Este produto tem um elevado teor de cloro activo (aproximadamente 60%) apresentando-se com um aspecto granulado opaco, de cor branca e com forte odor característico, tendo a vantagem de cumprir todos os requisitos para produtos clorados das piscinas, sendo de referenciar as seguintes características:

- Granulometria fina;
- Não afecta o pH da água, evitando assim a necessidade de acertos contínuos;

- Facilmente manuseável e estável, tanto na dissolução como na armazenagem;
- Mantém a água desinfectada com nível residual contínuo, devido à elevada percentagem em cloro activo.

Este produto foi concebido de forma a minimizar os riscos de ataques corrosivos, evitando assim a contaminação da água, possuindo a característica de não introduzir "iões cálcio" na água, responsáveis pela variação da qualidade química como a turvação, aumento de pH, dureza, ocorrência de incrustações e elevada estabilidade face a radiação solar, retardando assim a sua decomposição através da luz. No entanto, é importante voltar a referir que estas características não anulam totalmente o risco de ataque corrosivo.

É recomendado pelo fornecedor que seja adicionado diariamente à água da piscina a dose necessária de **SIQ AG CLOR 60 A PLUS**, sendo referido 150 g por cada 100 m^3 de água para uma manutenção diária e cerca de 300 g por cada 100 m^3 de água para uma supercloração quinzenal. Para uma máxima acção desinfectante, é necessário manter os filtros em circulação e limpos, e o teor de cloro deve ser sempre controlado e mantido entre valores de 1 e 1,5 ppm. Como já foi anteriormente referido, o pH tem um peso importante na acção desinfectante, e deve por isso ser mantido com valores situados entre 7,2 e 7,6.

2.2.3.2.2. Floculante clarificador concentrado

O floculante utilizado nas piscinas municipais de Vale de Cambra é o **SIQ AG FLOC L 130.**

Figura 12 – Aspecto da embalagem em que é fornecido o produto SIQ AG FLOC L 130

Este floculante é de natureza inorgânica, destinado a actuar de forma preventiva na remoção de sais dissolvidos ou partículas microscópicas suspensas na água, proporcionando uma água permanentemente transparente se for utilizado regularmente, possuindo também outras características, tais como:

- Não altera o pH, oferecendo assim um maior controlo deste parâmetro, e minimizando os riscos de ataques corrosivos, se forem utilizados em valores adequados;
- Agrupa as partículas em suspensão, formando rapidamente aglomerados volumosos que são retidos nos filtros, evitando assim a necessidade de aspiração do fundo da piscina ou a paragem das bombas;
- Reduz o volume de água utilizado na lavagem dos filtros por condensar as impurezas dispersas na água, aumentando assim a eficácia do desinfectante.

Este produto é recomendado na clarificação de águas de piscinas privadas, públicas e de complexos desportivos, apresentando-se com um aspecto líquido transparente e incolor, não emitindo odor, e possui um pH de 5.0 e uma densidade de 1,03 kg/l para uma temperatura de 25°C.

É recomendado pelo fornecedor que seja adicionado inicialmente cerca de 0,8 l, e uma manutenção semanal de aproximadamente 0,5 l por cada 100 m^3 de água a tratar.

Duas técnicas podem ser utilizadas para o seu doseamento:

- O floculante pode ser espalhado por todo o plano de água;
- O floculante pode ser adicionado na água por meio de bombas doseadoras, sendo injectado na tubagem após os filtros.

Nas piscinas municipais de Vale de Cambra, é utilizada a técnica referida em segundo lugar, garantindo melhores resultados visto que a mistura do coagulante com a água a clarificar é muito mais eficaz. A clarificação por meio de um coagulante está condicionada ao pH e alcalinidade da água. Assim sendo, o pH deve ser sempre corrigido para valores compreendidos entre 7,6 e 7,8.

2.2.3.2.3. Incrementador de pH

O incrementador de pH utilizado nas piscinas municipais de Vale de Cambra é o **SIQ AG PH+**.

A B

Figura 13 - Aspecto da embalagem (A) e do produto (B) SIQ AG PH +

Este produto é constituído por sais orgânicos alcalinizantes, compatíveis com os restantes agentes utilizados no tratamento da água e inofensivos para os utilizadores. É de grande importância manter-se os valores de pH dentro de um intervalo de 7,2 – 7,6, de forma a garantir a máxima acção desinfectante dos compostos à base de cloro. Este incrementador de pH apresenta-se em forma de pó opaco de cor branco e é inodoro.

Este produto deve ser utilizado sempre que o pH seja inferior a 7,2 sendo recomendado pelo fabricante uma dose variando entre 0,3 e 0,5 kg de SIQ AG PH+ por cada 100 m^3 de água, para elevar o valor de pH de 0,1 por cada dose adicionada.

Este incrementador de pH pode ser injectado na água através de duas formas distintas:

- Sistema automático de doseamento;
- Produto geralmente colocado directamente na água.

Geralmente é utlizado o segundo método, onde o produto é introduzido na calha lateral da piscina, dissolvendo-se de seguida.

2.2.3.2.4. Algicida bactericida

O algicida utilizado nas piscinas municipais de Vale de Cambra é o **SIQ AG 280.**

Figura 14 – Aspecto do produto SIQ AG 280

Este produto é especialmente concebido para proporcionar uma prolongada acção anti-microbiana com o poder de eliminar e evitar o aparecimento de algas e fungos na água e paredes das piscinas, não alterando o pH da mesma. O SIQ AG 280 é compatível com a utilização de compostos clorados, aumentando o rendimento do desinfectante e combinando a desinfecção com uma acção clarificadora. O algicida torna a água mais transparente e cristalina, reduzindo o número de operações de mudança de água e a probabilidade dos filtros colmatarem.

O algicida utilizado é inodoro e apresenta-se com um aspecto líquido transparente de cor azul, com pH de 5 e uma densidade de 1,02 kg/l a uma temperatura de 25°C.

Em água limpa, é recomendada a adição de aproximadamente 0,5 – 1,0 litro de SIQ AG 280 por cada 10 m^3 para um tratamento inicial, e de 2 litros por cada 100 m^3 de água. Importa referir que sempre que surgem algas verdes ou castanhas na água ou nas paredes das piscinas, recomenda-se um tratamento de choque adicionando cerca de 5 litros de algicida por cada 100 m^3 de água.

O algicida pode ser injectado através de um sistema automático de doseamento ou lançado directamente na água. Esta operação convém ser realizada após o encerramento das piscinas, de modo a evitar o contacto directo com os banhistas.

2.3. Corrosão e degradação de materiais

2.3.1. Fenómenos de corrosão e degradação de materiais: breve introdução

Com o lançamento de novas tecnologias ao longo do tempo, tem-se verificado o aumento da gama de materiais no mercado. Na selecção de materiais, os aspectos que mais pesam são os económicos e os tecnológicos. Nos aspectos tecnológicos, um dos principais factores a ter em conta é o meio ambiente em que o material vai permanecer, sendo uma forte influência para o seu tempo útil de vida, devido a corrosão.

Inicialmente, o termo corrosão era utilizado para descrever a deterioração de metais, não se aplicando a materiais não metálicos [UHLIG, 1962]. Com os novos avanços tecnológicos, surgindo novos materiais, começou-se a entender corrosão como a deterioração pela acção do meio [DUTRA,1991]. Desta forma, podemos então associar o termo corrosão aos materiais não metálicos. Nos metais, o conceito de “corrosão” é a reacção do metal com outros elementos não metálicos contidos no seu meio, principalmente oxigénio e enxofre, reduzindo assim as suas propriedades mecânicas, sendo denominado como “corrosão metálica”, distinguindo assim corrosão metálica de corrosão não-metálica. Contudo, na prática continua-se a aplicar o termo “corrosão” para qualquer tipo de material.

No caso dos metais, **Corrosão** é o ataque destrutivo e não intencional tendo origem através de uma acção **química** ou **electroquímica,** na qual há transferência de electrões de um tipo químico para o outro, podendo estar ou não associado a esforços mecânicos, que forma compostos idênticos aos que são extraídos inicialmente da natureza. A deterioração dos metais quando há decomposição do material, pode formar ou não produtos sólidos como óxidos, sulfuretos e hidróxidos, e é designado por “corrosão”. Pode também designar-se por “oxidação” quando a deterioração acontece pela reacção em atmosferas a altas temperaturas, formando camadas de óxidos. Os processos de corrosão e oxidação são ambos electroquímicos.

Podemos então concluir que um processo de corrosão é oposto ao processo de metalurgia, voltando o metal ao seu estado original, perdendo as suas propriedades quando reage com o meio ambiente. Para um melhor entendimento, a figura 16 seguinte representa esquematicamente o ciclo dos metais.

Figura 15 - Ciclo dos metais

A grande parte dos metais encontram-se na natureza sob a forma de minério, havendo excepções como o ouro, prata, platina, mercúrio e o cobre, que, termodinamicamente são materiais menos estáveis. Para a transformação do minério em metal, é necessário utilizar processos metalúrgicos que permitem a introdução de energia, principalmente térmica, variando de metal para metal, sendo perdida quando há corrosão [8, 9].

Nos materiais cerâmicos, a deterioração que também pode ser designada por corrosão, apenas ocorre em temperaturas elevadas ou em ambientes muito agressivos, o que faz com que estes materiais sejam muito resistentes à deterioração.

Nos materiais poliméricos, a corrosão pode ser entendida como a degradação através do meio ambiente ou inchaço através de solventes líquidos absorvidos pelo polímero, por exemplo. Pode também haver alteração na estrutura molecular destes materiais, quando são expostos a radiações electromagnéticas como a luz, raios-X ou calor.

Para esta tese, o estudo irá incidir principalmente na corrosão de materiais em contacto com água para consumo humano, sendo fundamental preservar da melhor forma possível o estado dos equipamentos, quer para lhes proporcionar um maior tempo útil de vida, assim como para preservar um boa qualidade da água, evitando contaminações através de partículas libertadas pelos materiais.

2.3.1.1. Princípios teóricos do fenómeno de corrosão

Como já foi referido anteriormente, o termo "corrosão" utiliza-se para materiais metálicos e não-metálicos.

A corrosão metálica pode-se definir como a deterioração química ou electroquímica do material, podendo estar ou não relacionados com esforços mecânicos. No meio, verifica-se principalmente o processo de corrosão electroquímica.

2.3.1.1.1. Corrosão metálica química

A corrosão química forma-se principalmente a partir da oxidação, onde geralmente se dá uma reacção na qual são produzidos electrões (reacção entre o metal e o ar ou oxigénio, na ausência de água ou fase aquosa). Esta reacção também pode ser denominada como "corrosão seca" ou ainda "corrosão quente", visto que também a podemos relacionar com reacções oxidantes entre metais e gases a temperaturas elevadas (acima de 100°C). Estas são as principais características da corrosão química, contudo, pode também ocorrer a temperatura ambiente e mesmo na presença de alguns meios líquidos. Quando o metal se encontra a temperaturas elevadas, a oxidação do metal também aumenta. Podemos descrever este tipo de corrosão como uma reacção química directa entre o metal e o agente corrosivo sem que haja movimentação de electrões, e ocorre em materiais como fornos, caldeiras, etc.

Podemos afirmar que este tipo de corrosão é menos frequente na natureza, não existem reacções oxidação-redução não havendo geração de corrente eléctrica. Acontece principalmente sob temperaturas elevadas, e é caracterizada por [10, 11]:

- Ausência de água líquida;
- Temperaturas acima do ponto de orvalho da água;
- Reacção química directa entre o metal e o meio corrosivo.

2.3.1.1.2. Corrosão metálica electroquímica

Para que se entenda o princípio da corrosão electroquímica, é importante compreender o conceito de alguns termos utilizados, como "iões", "oxidação" e "redução".

Qualquer espécie de natureza química é constituída por "protões" e "electrões". Quando se verifica a mesma quantidade de protões e electrões, afirmamos que o "átomo" está estável. Esta igualdade nem sempre se verifica, o que originará um desequilíbrio de cargas, visto que que o numero de protões e de electrões irá ser diferente. Existindo então uma variação de electrões, o átomo ficará carregado positivamente ou negativamente, e é designado por "ião".

Podemos definir "ião" como qualquer átomo ou molécula em que o número de protões é diferente do número de electrões, em que, havendo ganho ou perda de electrões, obtemos respectivamente iões negativos ou positivos.

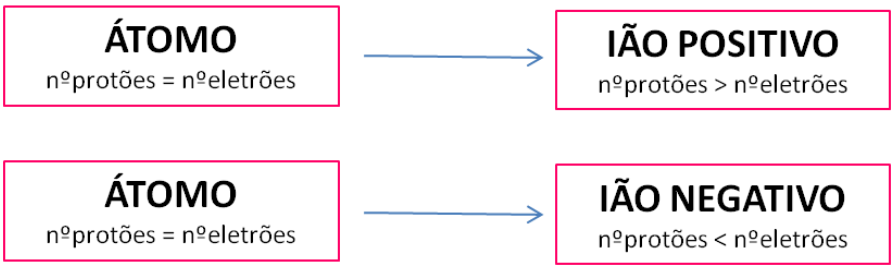


Figura 16 - Passagem de átomo para ião

Um electrão constitui a parte exterior do átomo. Quando o átomo perde electrões, o número de protões torna-se superior ao número de electrões, gerando excesso de carga positiva, originando um ião positivo (+), designado por "catião". No caso contrário, isto é, se o átomo ganhar electrões, o número de electrões torna-se superior ao número de protões, gerando então um excesso de carga negativa, originando um ião negativo (-), designado por "anião".

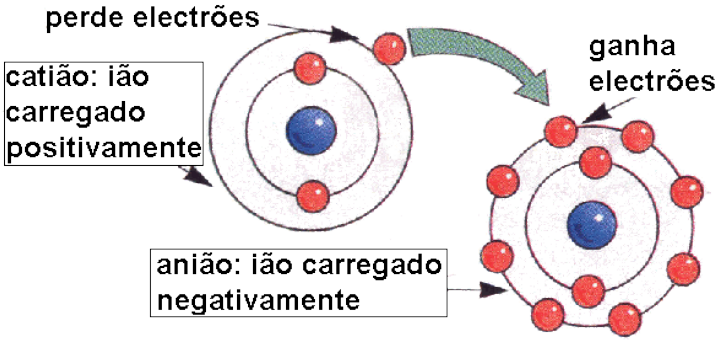


Figura 17 – Esquema de variação de electrões

O efeito oxidação-redução está sempre interligado visto que acontecem simultaneamente, ou seja, sempre que há oxidação (perda de electrões por acção química), existe também redução (ganho de electrões por acção química). Podemos verificar este fenómeno através do exemplo das equações 8 e 9:

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e \ \ (oxidação\ do\ ferro) \tag{8}$$

$$Cl_2 + 2e \rightarrow 2Cl^- \ (redução\ do\ cloro) \quad (9)$$

Após esta breve introdução, pode-se descrever o mecanismo de corrosão electroquímica, sendo este o processo mais comum na natureza. A principal característica deste mecanismo de corrosão é que ele só se manifesta na presença de um electrólito. Para que a reacção aconteça, é necessário haver simultaneamente uma reacção anódica (oxidação), que liberta electrões, os quais se deslocam para outros pontos do metal onde irá acontecer uma reacção catódica (redução), que absorve os electrões.

A reacção anódica provoca a dissolução do metal ou provoca a sua transformação, como por exemplo óxido ou sulfeto, proporcionando-se então o efeito de corrosão.

A reacção catódica leva à redução das espécies presentes no meio em que se encontra o metal, absorvendo os electrões até que as reacções atingem um ponto de equilíbrio e o processo de corrosão cesse.

O processo de corrosão electroquímica pode ser exposto pelo mesmo princípio duma pilha de corrosão, conforme se pode observar na figura 18, sendo necessários quatro factores indispensáveis para que se verifique [10, 11]:

- Ânodo: área onde acontece a reacção anódica;
- Cátodo: área onde acontece a reacção catódica;
- Condutor: através da qual irão fluir os electrões resultantes da reacção anódica;
- Electrólito: passagem que se irá encontrar simultaneamente em contacto com o ânodo e o cátodo, através da qual irão flui os iões resultantes de ambas as reacções.

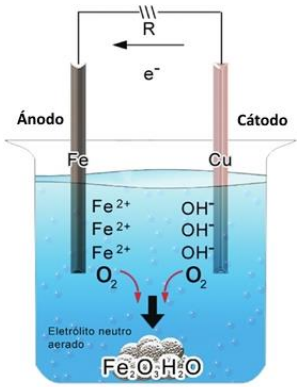


Figura 18 - Princípio do processo de “pilha de corrosão"

2.3.1.1.3. Corrosão nos materiais cerâmicos e poliméricos

O fenómeno da corrosão, embora mais importante nos materiais metálicos, também é comum nos restantes materiais, entre os quais se encontram os cerâmicos e os poliméricos. Por mais que seja utilizada a designação "corrosão", é mais usual o termo "desgaste" para os cerâmicos e "degradação" para os poliméricos.

2.3.1.1.3.1. Degradação dos materiais poliméricos

Quando os materiais poliméricos são expostos a certos reagentes, estes podem ser atacados ou dissolvidos. A exposição de polímeros à radiação e ao calor, pode promover a quebra de ligações e a deterioração das propriedades físicas. De uma forma geral, a degradação é definida como o conjunto de reacções que envolvem a quebra de ligações primárias da cadeia principal do polímero, com consequente alteração da estrutura química e redução da massa molar. É evidenciada pela deterioração progressiva de propriedades, incluindo o aspecto visual dos polímeros. Como é óbvio, a degradação é inconveniente, visto ser necessário os materiais possuírem uma boa durabilidade e vida útil. No entanto, a degradação pode ser benéfica em certas situações, como o caso de rejeições não recicláveis por contaminação ou inviabilidade económica, como o caso dos sacos do lixo.

Nos materiais poliméricos, são frequentemente utilizados os seguintes termos:

- Degradação: sempre que ocorre uma quebra das cadeias poliméricas;
- Envelhecimento: está relacionado com o factor "tempo" e é sempre prejudicial ao polímero.

Os principais factores responsáveis pela degradação são os seguintes:

- Termo oxidação: própria do uso contínuo, geralmente a altas temperaturas, provocando o envelhecimento do polímero;
- Meio ambiente: quando este é quimicamente agressivo e aquecido, associado a solicitações mecânicas;
- Foto-oxidação: causada pela exposição à radiação ultravioleta, associada às intempéries e responsável pelo envelhecimento.

Como em todos os materiais, certos polímeros sofrem ataques típicos de degradação, nomeadamente:

- Polipropileno (PP): quando é processado várias vezes, este sofre redução de massa molar com a oxidação;
- Polietileno (PE): apresenta cisão da cadeia molecular com a solicitação termodinâmica;
- O reprocessamento pode transformar o polietileno de alta densidade (PEAD), em polietileno de baixa densidade (PEBD), sendo bastante importante visto que uma maior densidade representa uma maior cristalinidade e opacidade;
- Nylon: este material absorve muita água, quebrando a cadeia principal devido à acção da temperatura, causando desta forma a redução da massa molar;
- PVC: De forma a favorecer a estabilização térmica do PVC, é comum recorrer à utilização de estabilizantes, tais como sais de chumbo na forma de carbonetos, sulfatos e fosfitos [12].

2.3.1.1.3.2. Desgaste dos materiais cerâmicos

Este tipo de materiais é praticamente inerte à temperatura ambiente, sendo geralmente atacados quando expostos a altas temperaturas pelos metais líquidos. Nos cerâmicos, o processo de dissolução é mais comum que a corrosão electroquímica. Os materiais cerâmicos são importantes em aplicações sujeitas a altas temperaturas, onde é necessário manter certas propriedades como a dureza, resistência à oxidação e estabilidade térmica. No entanto, os aditivos óxidos utilizados para promover a desinfecção na sinterização podem também conduzir à degradação das propriedades mecânicas a altas temperaturas. A desinfecção na sinterização promovida por estes aditivos deve-se à formação de uma fase líquida que, após o arrefecimento, é retirada como uma fase vítrea intergranular [12].

2.3.1.2. Principais meios corrosivos

O meio no qual se encontram os materiais durante o seu tempo de vida, é um factor importante a ter em conta para a sua selecção, visto poder-se deteriorar com mais ou menos velocidade. Neste tópico, irão ser abordados os meios corrosivos mais frequentemente encontrados, tais como [13]:

- Atmosférica;
- Aquosa;
- Em solos.

2.3.1.2.1. Corrosão atmosférica

A atmosfera pode ser qualificada de 4 formas básicas distintas:

- Atmosfera urbana;
- Atmosfera industrial;
- Atmosfera marítima;
- Atmosfera rural.

E a sua corrosão qualificada em 3 tipos distintos:

- Corrosão seca;
- Corrosão húmida;
- Corrosão aquosa.

A corrosão seca verifica-se em todos os materiais que tem uma energia livre negativa de formação de óxido na ausência de água. Num caso de corrosão seca, gera-se lentamente uma oxidação com formação de produtos de corrosão, podendo este mecanismo ser considerado puramente químico.

A corrosão húmida ocorre quando se forma um pequeno filme de electrólito sobre uma superfície metálica. Este processo ocorre quando existe uma percentagem de humidade relativa na atmosfera inferior a 100%, sendo um factor que irá influenciar a velocidade do processo corrosivo, conjuntamente com os poluentes atmosféricos e a higroscopicidade dos produtos de corrosão.

A corrosão aquosa manifesta-se sempre que existe condensação na superfície do material, que por sua vez acontece quando a humidade relativa na atmosfera é de cerca de 100%.

O processo de corrosão atmosférica, húmida ou aquosa é de natureza electroquímica. O processo catódico é quase sempre associado à redução do oxigénio, de acordo com a equação 10:

$$O_2 + 2H_2O + 4e \leftrightarrow OH^- \tag{10}$$

Existem vários factores que influenciam a corrosão atmosférica como **os produtos de corrosão**, **a composição existente na atmosfera**, **os seus contaminantes**, entre **outros factores**.

Os produtos de corrosão podem ser divididos em dois grupos:

- Produtos de corrosão solúveis;
- Produtos de corrosão insolúveis.

Os produtos solúveis podem aumentar a condutividade do electrólito sobre a superfície metálica, ou então agirem de forma higroscópica onde tem tendência a forma soluções, quando a humidade é muito alta. Estes factores podem proporcionar um aumento da taxa de corrosão. Contrariamente aos produtos de corrosão solúveis, os produtos insolúveis tendem a reduzir as taxas de corrosão, visto que formam uma barreira entre a atmosfera e o metal. No então, podem também aumentar as taxas de corrosão, por conservar a humidade em contacto com a superfície do metal.

A atmosfera é formada por constituintes normalmente constantes, com excepção do vapor de água que varia com o clima, estações do ano e localização. Entre todos os constituintes existentes, destacam-se dois como sendo muito importantes nos processos de corrosão, que são o "oxigénio" e o "dióxido de carbono". O oxigénio que se encontra no electrólito, reage como o cátodo no processo de corrosão. Além disso, em finos filmes electrólitos, a passagem do oxigénio é rápida. O dióxido de carbono é influente quando se encontra em contacto apenas com certos materiais como o zinco, por exemplo (fig.19).

ppmv: partes por milhão por volume (nota: a fração de volume é igual à fração molar para apenas gases ideais)

Gás	Volume
Nitrogênio (N_2)	780.840 ppmv (78,084%)
Oxigênio (O_2)	209.460 ppmv (20,946%)
Argônio (Ar)	9.340 ppmv (0,9340%)
Dióxido de carbono (CO_2)	390 ppmv (0,0390%)[2]
Neônio (Ne)	18,18 ppmv (0,001818%)
Hélio (He)	5,24 ppmv (0,000524%)
Metano (CH_4)	1,79 ppmv (0,000179%)[3]
Criptônio (Kr)	1,14 ppmv (0,000114%)
Hidrogênio (H_2)	0,55 ppmv (0,000055%)
Óxido nitroso (N_2O)	0,3 ppmv (0,00003%)
Monóxido de carbono (CO)	0,1 ppmv (0,00001%)
Xenônio (Xe)	0,09 ppmv ($9x10^{-6}$%)
Ozônio (O_3)	0,0 a 0,07 ppmv (0% a $7x10^{-6}$%)
Dióxido de nitrogênio (NO_2)	0,02 ppmv ($2x10^{-6}$%)
Iodo (I)	0,01 ppmv (10^{-6}%)
Amônio (NH_3)	traços
Gases não incluídos na alta atmosfera (amostra isenta de água):	
Vapor de água (H_2O)	~0.40% em toda a atmosfera, normalmente entre 1%-4% na superfície

Figura 19 - Composição da atmosfera (amostra isenta de água), por volume

Na atmosfera existem também constituintes “contaminantes”, entre os quais a presença de óxidos de enxofre, mais propriamente dióxido de enxofre (SO_2), que influência bastante a corrosão dos aços e do zinco em meio atmosférico. Este contaminante provém principalmente da oxidação atmosférica de ácido sulfídrico, produzido pela decomposição de compostos orgânicos contendo enxofre, e pela queima de combustíveis contendo também enxofre, entre outros.

Existem diversos contaminantes responsáveis pela corrosão em **atmosfera industrial**, contudo, o dióxido de enxofre é o mais relevante. Este é alcançado através das partículas de pó, oxida-se através de um processo catalítico formando ácido sulfúrico, que posteriormente se deposita na superfície do material em forma de gota com tamanho microscópico, juntamente com dióxido de enxofre e ácido sulfuroso. Podemos dizer que as **atmosferas urbanas** são semelhantes às atmosferas industriais, de modo menos agressivo.

O sulfato de amónia é outro contaminante importante em atmosferas industriais, é higroscópico e ácido, dando origem ao processo de corrosão.

Partículas não absorventes afectam a corrosão pelo facto de facilitar os processos de aeração diferencial em zonas de contacto com o material. Existem também as designadas partículas absorventes que se encontram na atmosfera, como o carvão, que absorvem o dióxido de enxofre e o vapor de água, formando electrólitos de ácidos corrosivos. Podemos constatar que as atmosferas industriais são muito favoráveis ao início de processos corrosivos, devido a presença de enxofre.

Outro meio muito prejudicial para o efeito da corrosão é a **atmosfera marítima**, visto que está carregada de partículas salinas de cloreto de sódio (sal marítimo), possuindo quantidades consideráveis de iões de potássio, magnésio e cálcio, que são higroscópicos. Estas partículas são transportadas pelo vento e depositam-se na superfície dos materiais, diminuindo a sua concentração rapidamente com o afastamento à água do mar.

Num caso oposto, existem as **atmosferas rurais**, onde não existem contaminantes químicos fortes, mas nas quais podem existir poeiras orgânicas e inorgânicas. Nesta atmosfera, predomina a existência humidade e gases como o oxigénio e o dióxido de carbono, que podem provocar ambientes muito corrosivos.

O composto de azoto também provoca a contaminação atmosférica rural, e pode ser originado por fontes naturais como a formação de amónia durante tempestades, ou sintéticas quando são formadas através de fertilizantes.

Para além dos factores referenciados anteriormente, a corrosão atmosférica é afectada por outros factores como a temperatura, humidade, ventos, radiação, etc.

Cobre, chumbo e aço galvanizado são materiais muito utilizados e resistentes aos diferentes tipos de atmosfera. Com a adição de pequenas quantidades de cobre, o aço ao carbono torna-se muito resistente à corrosão atmosférica, visto que o cobre facilita a formação de uma película protectora sobre o aço. A adição de níquel e crómio também são vantajosos nestas atmosferas, visto que formam sulfatos insolúveis que protegem o metal.

Quando os materiais se encontram expostos na atmosfera, a diminuição da temperatura durante a noite origina condensação de humidade onde muitas vezes a evaporação é dificultada, provocando o ataque do material denominado por "corrosão protegida" [8, 13].

2.3.1.2.2. Corrosão em água

Os processos de corrosão de materiais em contacto com água são de elevada complexidade visto que dependem de vários parâmetros, tais como do próprio metal, das características da água e, das condições de funcionamento que ligam estes dois elementos como, por exemplo, caldeiras e tubagens que apresentam características diferentes. A corrosão em água pode ser qualificada em 2 formas básicas distintas:

- Água do mar;
- Águas naturais.

De todos os meios naturais, o ambiente marítimo é o mais corrosivo. A **água do mar** possui cerca de 3,4% de sais dissolvidos e é ligeiramente alcalina, tendo valores de pH próximos de 8,0, o que a torna num bom electrólito, originando assim corrosão galvânica. A corrosão provocada pela água do mar é afectada pela velocidade da água, a sua temperatura e pelo oxigénio e organismos biológicos presentes. Os principais componentes e estruturas corroídos pela água do mar têm uma ligação directa com a mesma, como por exemplo bombas e tubagens de água de mar, submarinos, embarcações, cais e plataformas petrolíferas.

As **águas naturais** provocam corrosão dependendo muito de diversos factores, onde podemos destacar teores de cloreto, enxofre, oxigénio e a própria dureza da água. O teor de cloreto pode ter uma variação de poucas partes por milhão (ppm), até centenas de partes por milhão

num mesmo território. Essa variação também acontece com os compostos de enxofre. A dureza da água classifica-se perante a quantidade de sais dissolvidos, sendo mais corrosivas as águas moles visto que os carbonetos presentes nas águas duras protegem o material ao depositar-se nele. Entrando em contacto com a água, os metais corroem-se, dependendo das substâncias presentes na mesma, que são principalmente:

- Gases dissolvidos (oxigénio, dióxido de carbono, cloro…);
- Sais dissolvidos (cloreto de sódio, de ferro, carbonato de sódio…);
- Matéria orgânica;
- Bactérias;
- Sólidos suspensos;
- pH, velocidade e acção mecânica.

De forma a avaliar a corrosão, dependendo da aplicação de cada material e do tipo de água, devemos ter em atenção a possível presença de diversos contaminantes. Em água potável, a qualidade sanitária é de grande importância, de forma a minimizar a presença de sólidos suspensos, sais, chumbo, mercúrio ou microorganismos. Em sistemas de refrigeração, é essencial evitar todos os constituintes que podem formar depósito, caso contrário, podem ser criadas condições para o desenvolvimento de corrosão por aeração diferencial. Em sistemas de geração de calor, é necessário evitar a presença de oxigénio e certos sais. O oxigénio pode oxidar certos materiais no interior do equipamento, deixando assim de os proteger, e os sais incrustantes podem formar depósitos que dificultam a transferência térmica. No sector químico ou farmacêutico, recomenda-se a desmineralização ou esterilização da água, de forma a evitar impurezas [8, 13].

2.3.1.2.3. Corrosão dos solos

A corrosão dos solos é também um fenómeno electroquímico, mais complexo que a corrosão em água devido aos inúmeros factores associados. Existe uma grande diversidade de características nos solos que os tornam mais ou menos agressivos, podendo ser:

- Físicas;
- Químicas.

A determinação da permeabilidade do solo ao ar e a água são determinadas por as características físicas, e as substâncias químicas que influenciam a corrosão são as que se dissolvem na água. A agressividade do meio varia consoantes o aumento e diminuição de umas

e outras substâncias. A corrosão do solo acontece normalmente sob forma de "picada" (pite) e é originada pela diferença de potencial, existindo principalmente entre as concentrações de oxigénio e de sais [8, 13].

2.3.1.3. Métodos de protecção á corrosão

Existem várias formas de proteger os materiais contra a corrosão, tendo principalmente em conta aspectos técnicos e económicos, sendo de destacar as seguintes [11]:

- Tratamentos de superfície;
  - Revestimentos aplicados.
  - Revestimentos reactivos;
  - Anodização;
  - Revestimento por biofilmes.
- Protecção catódica;
  - Protecção por ânodo de sacrifício;
  - Protecção por corrente impressa.
- Protecção anódica;
- Protecção por alteração do meio ambiente;
- Passivação;
- Polarização.

2.3.1.3.1. Tratamento de superfície.

O tratamento de superfície por revestimento aplicado processa-se através de métodos como a galvanização, a pintura e a aplicação de esmaltes. Estes são os métodos mais comuns e actuam de forma a criar uma barreira (de um material resistente a corrosão) entre o material que se pretende proteger e o meio ambiente no qual se encontra. Contudo, em determinados casos existem algumas desvantagens como a resistência a abrasão e a resistência a altas temperaturas.

No caso da galvanização, é muito importante ter atenção ao material do revestimento, mas também ao material das áreas expostas. Se o revestimento é mais nobre que o substrato, a

formação de um par galvânico irá corroer áreas expostas num tempo muito menor do que o faria o material sem estar revestido.

A pintura, como a conhecemos tradicionalmente, é mais utilizada para espaços estreitos utilizando rolos ou trinchas. É um método fácil de aplicar e seca rapidamente, podendo variar, consoante a humidade e a temperatura existente.

A pulverização é mais utilizada em áreas de maior dimensão e é adequada para materiais localizados em ambientes marítimos.

O tratamento de superfície por revestimento reactivo pode ser realizado através de inibidores de corrosão. Os inibidores formam um isolante sobre as superfícies metálicas expostas, eliminando reacções electroquímicas e reduzindo a possibilidade de defeitos no revestimento, uma vez que inibidores extras podem ser feitos de metal disponível onde quer que a superfície se encontre exposta. Produtos químicos que inibem a corrosão contêm alguns sais que formam a denominada "água dura", cromatos, fosfatos, polianilinas, entre outros polímeros condutores e produtos químicos.

O tratamento de superfície pelo processo de anodização é muito resistente à corrosão e é realizado através de um ajuste cuidadoso das condições electroquímicas, condições nas quais poros irão aparecer no filme de óxido metálico. Estes poros irão permitir que o óxido se desenvolva com uma espessura maior que em condições normais de passivação, permitindo no final do tratamento apresentar uma camada superficial mais dura que o normal. No caso de este revestimento ser riscado, o processo normal de passivação protege o metal na zona danificada.

O tratamento de superfície através do revestimento por biofilmes é um método utilizado recentemente e desenvolvido através de filmes bacterianos ma superfície de metais, em ambientes muito corrosivos.

2.3.1.3.2. Protecção catódica.

A protecção catódica é uma técnica utilizada para controlar a corrosão de superfícies metálicas. Este método consiste em fazer da superfície do metal o cátodo duma célula electroquímica, e é muito utilizado para proteger materiais que se encontram em ambiente marítimos.

A protecção catódica por ânodo de sacrifício consiste na polarização do potencial da superfície metálica para um valor mais negativo, até que esta atinja um potencial uniforme. Quando o potencial é uniforme, a força que origina a reacção de corrosão é impedida. Em

sistemas galvânicos, o ânodo é corroído sob influência do aço. Neste caso, é necessário proceder à substituição do próprio ânodo. A polarização é originada pela passagem de corrente do ânodo para o cátodo, impulsionada pela diferença de potencial electroquímico presente entre o ânodo e o cátodo (fig. 20).

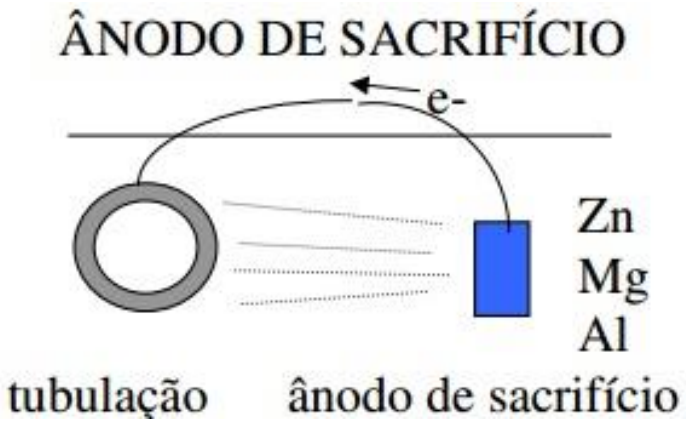


Figura 20 – Princípio do processo de protecção catódica por ânodo de sacrifício

Figura 21 – Aspecto de um ânodo após o sacrifício

A protecção catódica por corrente impressa é um método de protecção utilizado em estruturas de grandes dimensões, para as quais, ânodos galvânicos não são a forma mais adequada de fornecer uma corrente suficiente, permitindo a completa protecção do material. A protecção catódica por corrente impressa utiliza ânodos ligados a uma fonte de alimentação de corrente contínua. Normalmente, estes ânodos são de materiais específicos como o ferro fundido de alto silício, grafite, óxido de metal ou titânio revestido de platina ou nióbio (fig. 22).

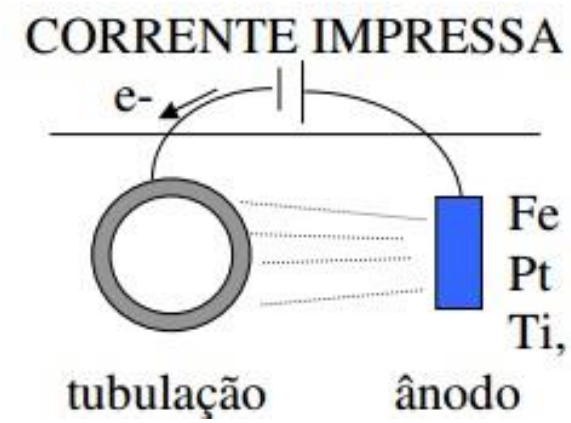


Figura 22 – Princípio do processo de protecção catódica por corrente impressa

2.3.1.3.3. Protecção anódica.

A protecção anódica, ao contrário da protecção catódica, é um método que impõe corrente na estrutura a ser protegida, ou seja, faz do material a proteger um ânodo. Este método utiliza uma pequena corrente e convém ser aplicado em materiais que podem ser passivados no meio em que se encontram (normalmente agressivos) para o potencial aumentar, tornando-os assim passivos (fig. 23).

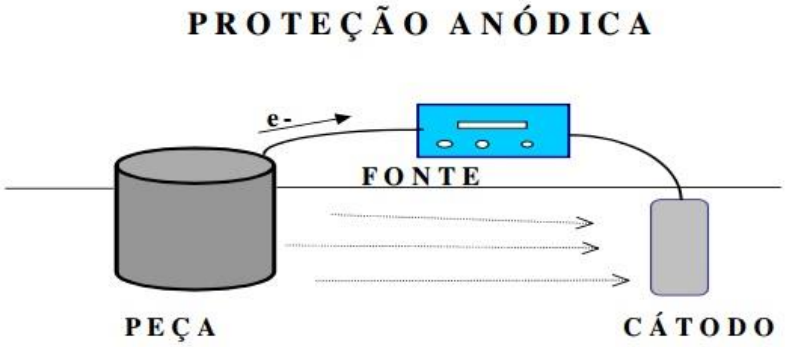


Figura 23 – Princípio do processo de protecção anódica

2.3.1.3.4. Protecção por alteração do meio ambiente.

A protecção por alteração do meio ambiente é um método muito utilizado, onde, para além dos inibidores que agem através do meio corrosivo, podemos também destacar outras técnicas como:

- Remoção do oxigénio;

- Controle do pH.

O oxigénio é um agente despolarizante que, ao ser removido, favorece a polarização catódica, diminuindo então a intensidade do processo de corrosão. Esta técnica pode ser realizada por meio químico, através de métodos que absorvem e armazenam o oxigénio, ou por meios mecânicos como a introdução de outro gás que remove o oxigénio por arrasto, por vaporização, ou em câmara de vácuo.

O controlo do pH tem como objectivo favorecer a passivação dos metais, sendo mais fácil tornarem-se passíveis com pH ligeiramente básico. No entanto, é necessário ter-se alguns cuidados, visto que certos materiais (anfóteros) perdem algumas propriedades quando se encontram em soluções muito básicas.

Neste tipo de protecção, existem ainda outros métodos que visam reduzir as taxas de corrosão, como a técnica de controlar a velocidade relativa entre o metal e o electrólito, e também pelo controle da temperatura.

2.3.1.3.5. Passivação

Designa-se por passivação a alteração do potencial de um eléctrodo no sentido de menor actividade (metal mais nobre), estando sob condições ambientais particulares, tornando-os extremamente inertes. A passivação resulta na formação duma pelicula de óxido altamente aderente e fina sobre a superfície do metal, que irá protegê-lo contra o desenvolvimento da corrosão e designa-se por “película passivante”.

- Crómio, níquel, titânio, Monel e aço inoxidável passivam-se em praticamente qualquer meio corrosivo, especialmente na atmosfera, daí serem materiais muito utilizados;

- Chumbo passiva-se na presença de ácido sulfúrico;

- Ferro passiva-se unicamente na presença de ácido nítrico concentrado. Se este se encontrar diluído, a camada passivante não se forma;

- A maioria dos metais e ligas passivam-se em contacto com meios básicos, com excepção dos metais anfóteros (Al, Zn, Pb, Sn e Sb).

A figura abaixo representada mostra a taxa de corrosão dum metal passivável, que pode atravessar três estados, mediante o potencial aplicado. Para valores de potenciais baixos, o metal encontra-se numa **zona de actividade**, onde é representado no gráfico através duma recta. Com o aumento do potencial, a taxa de corrosão diminui súbitamente para um valor que

continua baixo, independentemente da variação de potencial, que é denominado por uma **zona de passivação**, zona onde o metal forma a sua camada passivante. Finalmente, quando se atingem valores de potencial elevado, a taxa de corrosão volta a aumentar, passando para uma zona denominada por **transpassividade** (fig 24).

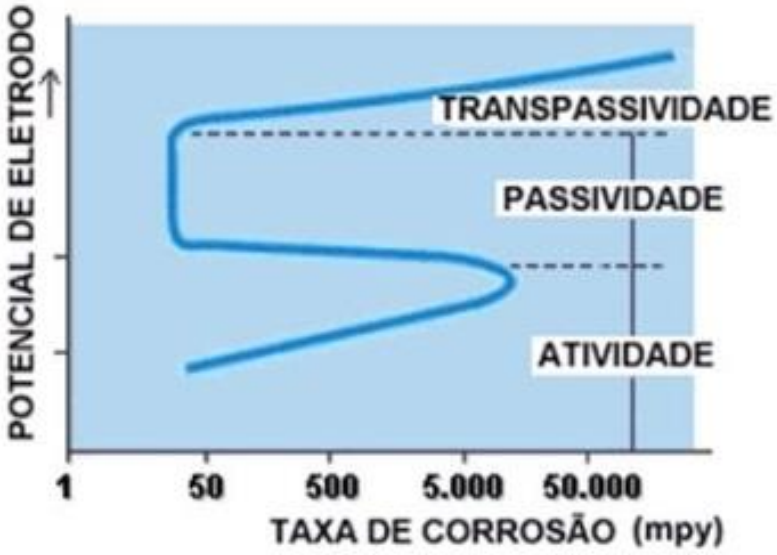


Figura 24 - Taxa de corrosão dum material passivavel

A figura 25 apresentada uma curva de taxa de corrosão para um metal não passivavel, onde podemos verificar que nesse caso, a sua representação é uma recta com declive positivo.

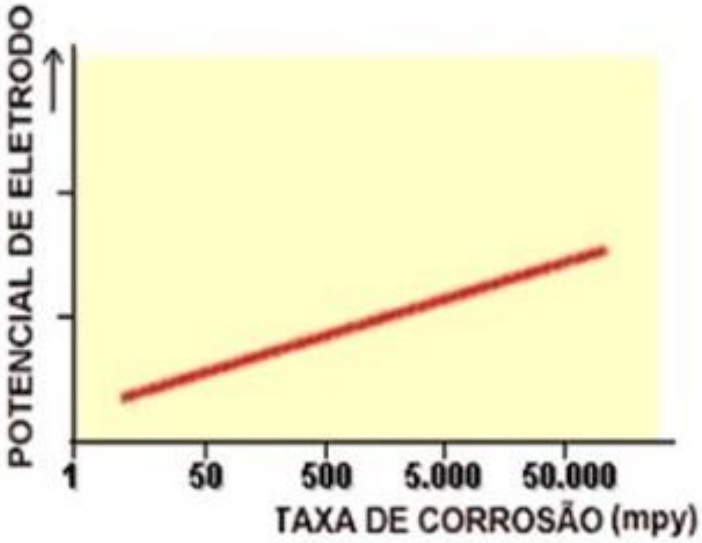


Figura 25 - Taxa de corrosão dum metal não passivavel

Se a película passivante se danificar, esta volta a formar-se rapidamente, no entanto, se as condições corrosivas presentes no ambiente variarem, pode levar o metal para uma zona activa, o que pode provocar um aumento significativo da taxa de corrosão, danificando-o.

2.3.1.3.6. Polarização

Podemos definir polarização como sendo a alteração do potencial de um eléctrodo através de variações de concentração, sobretensão ou de resistência.

O fenómeno de polarização tem como objectivo aproximar a corrente entre o ânodo e o cátodo, que origina um aumento da resistência ohmica, reduzindo assim a velocidade do processo de corrosão. Com este fenómeno, as taxas de corrosão são menores do que sucederia no caso das pilhas de corrosão funcionarem de um modo activo, em todas as condições dos processos corrosivos.

Quando o controlo das reacções de corrosão é efectuado por polarização, principalmente na zona anódica, diz-se que o processo está controlado **"anodicamente"** e que o eléctrodo se encontra sob "protecção anódica". Caso contrário, se esse controle for realizado na zona catódica, diz-se que o processo está controlado **"catodicamente"** e que o eléctrodo se encontra sob "protecção catódica". Sempre que o controlo é efectuado pelo aumento de resistência de contacto entre a zona anódica e catódica, diz-se que a reacção está controlada **"ohmicamente"**.

Podemos então afirmar que existe 3 métodos de polarização:

- Polarização por concentração;
- Polarização por activação;
- Polarização por resistência.

A polarização por concentração é originada através do aumento da concentração de iões do material metálico junto da zona anódica, o que faz baixar o seu potencial, e diminuir o número de iões de hidrogénio H^+ junto à área catódica. A polarização por concentração acontece principalmente em electrólitos sem movimentos, no caso deste mesmo ser movimentado, o fenómeno não se verifica.

A polarização por activação é originada pela sobretensão dos gases junto aos eléctrodos. Os casos mais importantes no estudo da corrosão são aqueles em que se verifica libertação de O_2 junto ao ânodo, ou libertação do H_2 junto ao cátodo, designado por polarização catódica, sendo muito importante para o controlo da corrosão. Quando o electrólito é pouco arejado, o

H_2 libertado e absorvido na zona catódica provoca uma sobretensão, que consegue reduzir a violência do meio em que se encontra.

A polarização ôhmica é originada pela activação de compostos (principalmente carbonatos e hidróxidos) que se tornam inseparáveis com o aumento do pH junto à zona catódica. Estes compostos produzem um revestimento natural, nomeadamente carbonato de cálcio e hidróxido de magnésio [8].

2.3.1.4. Tipos de corrosão

Através da aparência superficial do material, podemos muitas vezes verificar o tipo de corrosão presente. Existem muitas semelhanças entre os mecanismos de corrosão de um processo electroquímico, visto que são constituídos por zonas catódicas e anódicas através das quais circula uma corrente de electrões e de iões. Os diversos tipos de corrosão distinguem-se principalmente pela perda de massa e a forma como os materiais são atacados. Entre eles, destacam-se os seguintes [11, 14]:

- Corrosão uniforme/localizada;
- Corrosão por picada;
- Corrosão por concentração diferencial;
  - Corrosão por concentração iónica diferencial;
  - Corrosão por aeração diferencial;
  - Corrosão em fendas;
  - Corrosão filiforme.
- Corrosão galvânica;
- Corrosão selectiva;
  - Corrosão grafítica;
  - Corrosão por deszincificação.
- Corrosão em escoamento de fluídos;
  - Corrosão-erosão;

- Corrosão com cavitação;
- Corrosão por turbulência.

- Corrosão intergranular;
- Corrosão sob tensão;
- Corrosão por fadiga;
- Corrosão química;
- Corrosão bacteriana;
- Dissolução/inchaço.

Estes tipos de corrosão acima mencionados podem-se apresentar sob diversas formas, sendo principalmente verificadas as seguintes:

- Corrosão uniforme;
- Corrosão por placas;
- Corrosão por picada;
- Corrosão intergranular ou intercristalina;
- Corrosão transgranular ou transcristalina.

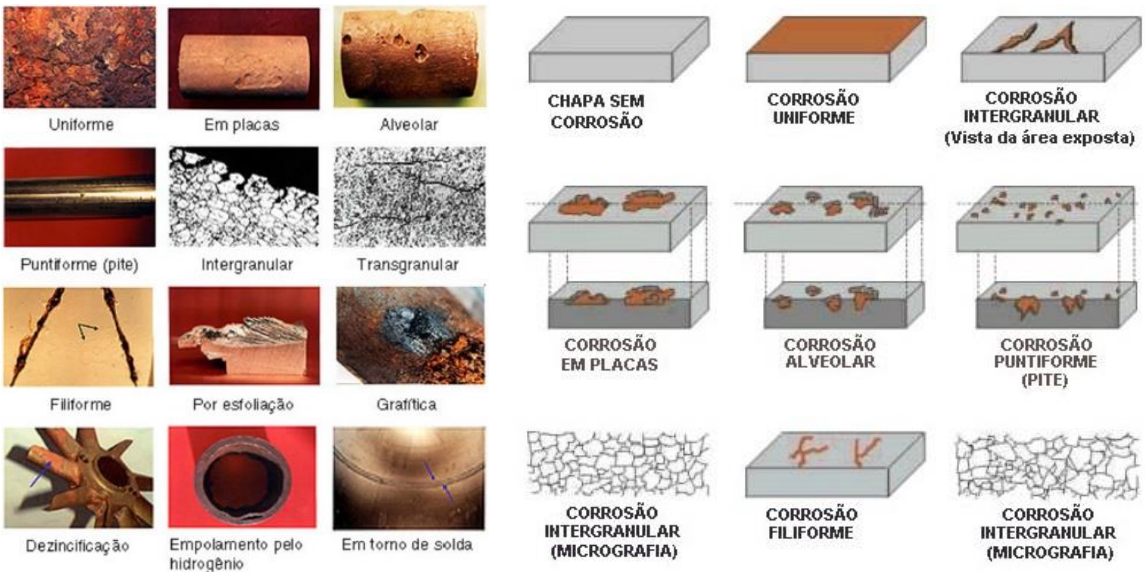


Figura 26 – Aspecto e representação esquemática das principais formas de corrosão

2.3.1.4.1. Corrosão uniforme / localizada

A corrosão uniforme é um tipo de corrosão que ocorre em toda uma superfície metálica que esteja em contacto com o meio corrosivo, originando consequentemente a diminuição da sua espessura. Este tipo de corrosão ocorre principalmente devido a "micropilhas" de acção local. Designa-se por "micropilha" qualquer processo de corrosão onde a diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo é originado por impurezas, segregações ou modificações físicas de um metal. Este tipo de corrosão é presumivelmente o mais comum de todos os processos existentes, quando um meio ambiente contacta directamente com a superfície de um material. A corrosão uniforme é uma das mais fáceis de acompanhar visto que a diminuição da espessura ocorrida em toda a superfície do material é sensivelmente a mesma.

A "corrosão localizada" sucede quando ocorrem ataques corrosivos em locais específicos e que originam perda de espessura apenas nesses locais.

2.3.1.4.2. Corrosão por picada

A corrosão por picada (pite), que provém do inglês "pit" e significa "picada" , é uma forma de corrosão localizada que forma cavidades de pequena dimensão, mas com uma profundidade considerável e acontece em pontos específicos do material, podendo deixar o resto do material praticamente sem marcas de ataque. Habitualmente, este tipo de corrosão ocorre em materiais passiváveis quando a camada protectora é danificada, provocando corrosão nessa zona. O acompanhamento deste tipo de corrosão é difícil, porque o controle através da perda de peso não determina o desgaste presente. As picadas formam-se em pontos frágeis da camada passivante, onde, no seu interior, o pH é alterado para valores mais ácidos, o que dificulta a reformação da camada passivante. Essa pequena área torna-se activa face a uma área catódica maior, que origina uma corrosão intensa e localizada.

2.3.1.4.3. Corrosão por concentração diferencial

A corrosão por concentração diferencial provoca de certa forma corrosão localizada. Este processo corrosivo é proporcionado pela variação de determinados agentes no meio em que se encontram e, os principais processos são:

- Corrosão por concentração iónica diferencial;
- Corrosão por aeração diferencial;
- Corrosão em fendas;
- Corrosão filiforme.

A corrosão por concentração iónica diferencial acontece sempre que existe variação de iões do metal no electrólito. Este fenómeno faz com que os potenciais electroquímicos sejam diferentes e, consequentemente, uma pilha onde a área que se encontra em contacto com menor concentração funciona como ânodo e, a que está com maior concentração como cátodo.

A corrosão por aeração diferencial acontece sempre que existe variação de oxigénio no metal, ou seja, as áreas que se encontram em contacto com uma maior concentração de oxigénio tornam-se catódicas e, as que se encontram em contacto com menor concentração de oxigénio serão anódicas. Este tipo de corrosão verifica-se frequentemente na interface de saída duma estrutura do solo ou da água para a atmosfera.

A corrosão em fendas ou intersticial é resultado da formação de pilhas de arejamento diferencial e de concentração iónica diferencial, formadas nas fendas do material. Geralmente, as pilhas de aeração diferencial aparecem quando o meio em que o material se encontra é gasoso, e as pilhas por concentração iónica diferencial quando o meio é líquido. As frestas ocorrem em locais como ligações roscadas, flangeadas, entre outras, e devem ser sempre evitadas, devido a serem locais mais propícios à corrosão.

A corrosão filiforme processa-se sob certos tipos de revestimento, especialmente de pintura e geralmente acontece quando a humidade do ar é superior a 85%. Este tipo de corrosão ainda não foi bem entendido. Julga-se que é semelhante ao da corrosão em frestas, devido ao arejamento diferencial provocado no filme de pintura. Este tipo de corrosão propaga-se sob a forma de finos filamentos, não profundos, que têm varias direcções.

2.3.1.4.4. Corrosão galvânica

Este tipo de corrosão resulta de um contacto eléctrico entre dois materiais diferentes ou num material não homogéneo. Quanto mais distinta for a diferença de potencial electroquímico presente entre dois materiais (ou entre dois pontos distintos se uma material), maior será a intensidade de corrosão. Uma forma possível para proteger dois materiais, passa por reduzir ao máximo a relação existente entre o ânodo e o cátodo. Um aspecto também importante neste tipo de corrosão é a presença de iões metálicos no electrólito, que pode provocar corrosão devido à redução dos iões do meio, com a consequente oxidação do metal, isto quando os iões presentes no electrólito forem de materiais mais catódicos que os que venham posteriormente a entrar em contacto.

2.3.1.4.5. Corrosão selectiva

A corrosão selectiva acontece quanto existe a formação de um par galvânico com uma elevada diferença de potencial entre dois constituintes de uma liga metálica, ou seja, um material muito mais nobre que outro. Este tipo de corrosão pode ser dividido em dois principais tipos:

- Corrosão grafítica;
- Corrosão por deszincificação.

A corrosão grafítica ocorre nos ferros fundidos cinzentos e no ferro fundido nodular, devido à presença de grafite. A grafite é um material muito mais catódico que o ferro, vai então agir como cátodo, enquanto o ferro se assume como ânodo, originando assim um sistema de corrosão. O ferro fundido é muito utilizado em tubagens de água, esgotos, etc. Mesmo corroído, não causa qualquer perigo quando se encontra perante situações de uso normal, devido às baixas pressões exigidas.

A corrosão por deszincificação verifica-se nas ligas de zinco, principalmente nos latões, resultante de uma fusão entre cobre e zinco, com concentrações que podem variar de 5% a 45% de zinco. Este processo de corrosão verifica-se quando existe pelo menos um teor de 15% de zinco, aumentando a tendência com o aumento da sua percentagem e consiste na migração do zinco, sendo este o material mais anódico, sobrando então o cobre e produtos de corrosão. Este tipo de corrosão pode ser evitado através de um tratamento térmico de solubilização da liga ou com o uso de ligas que contenha elementos inibidores.

2.3.1.4.6. Corrosão associada ao escoamento de fluidos

No **escoamento de fluidos**, os processos de corrosão podem ser acelerados devido à associação do efeito mecânico com a acção corrosiva.

Existem diversos tipos de corrosão associada ao escoamento de fluidos, dos quais, podemos distinguir principalmente os seguintes:

- Corrosão-erosão;
- Corrosão com cavitação;
- Corrosão por turbulência.

Antes de falar de **"corrosão-erosão"**, convém ter-se uma noção do conceito de "erosão", que é o desgaste mecânico provocado pela abrasão superficial de uma substância sólida, líquida ou gasosa. Em materiais metálicos, a erosão verifica-se principalmente quando se desloca um

material sólido, quando existe deslocação de um líquido que contêm partículas solidas e quando existe deslocação de um gás contendo partículas líquidas ou sólidas. Este fenómeno desgasta superficialmente o material, sendo capaz de lhe remover a película protectora, causando assim um aumento da intensidade no processo de corrosão. Em tubagens, permutadores e turbinas, a erosão ocorre principalmente devido a líquidos e gases.

A corrosão com cavitação é provocada por ondas de choque de um líquido proveniente do rebentamento de bolhas gasosas, provocando assim desgaste na superfície de um determinado material. O fenómeno de cavitação ocorre devido ao líquido entrar em ebulição, devido a estarem em zonas de baixa pressão, formando bolhas que são destruídas violentamente quando entram em zonas de pressão mais elevada, criando desta forma ondas de choque no líquido. A cavitação tem uma forma de desgaste semelhante à erosão, destruindo a película protectora dos materiais e expondo o material novamente a desgastes corrosivos.

A corrosão por turbulência acontece principalmente em situações onde existe redução de secção, em tubagens por exemplo, sendo assim um processo corrosivo associado ao fluxo turbulento de um líquido. A turbulência pode originar a formação de bolhas gasosas, caso esse fenómeno se verifique. As bolhas poderão chocar na superfície do material, resultando num processo erosivo denominado de "impinjimento". Comparado com a cavitação, este difere quanto à forma de desgaste. No impinjimento, é comum verificarem-se alvéolos com forma de ferradura e normalmente as bolhas são de ar, ao inverso da cavitação, que são bolhas de vapor.

2.3.1.4.7. Corrosão intergranular

A corrosão intergranular ocorre quando segue o caminho da região de contorno do grão, separando-se consoante a evolução da corrosão. Este tipo de corrosão não requer a presença de um meio corrosivo e de esforços mecânicos simultaneamente, como se verifica no caso da corrosão sob tensão. A diferença da composição química da matriz (material no meio do grão) e do material vizinho ao contorno, é o principal factor responsável pela diferença de resistência à corrosão. Assim sendo, mesmo que a capacidade de formação da camada passiva não seja totalmente eliminada devido a alteração química, verifica-se que existe uma corrente de corrosão devido à diferença de potencial provocada pela diferença de características dos materiais. Geralmente, não é possível detectar a possibilidade de acontecer este tipo de corrosão apenas com um exame metalográfico, sendo então necessário recorrer a exames específicos.

2.3.1.4.8. Corrosão sob tensão

Para que ocorra **corrosão sob tensão**, é necessário que dois factores aconteçam simultaneamente:

- O material tem que ser submetido a tensões de tracção;
- O material tem que estar em contacto com um ambiente corrosivo especifico.

Propriedades mecânicas como a dureza, encruamento, etc., são factores muito importantes na selecção de um material para um determinado fim, onde a tensão de tracção tem que ser sempre superior a um determinado valor limite. Na corrosão sob tensão, são formadas "fissuras" no material, as quais podem ser intergranulares quando a trajectória para a corrosão é o contorno do grão, ou transgranulares quando a corrosão se propaga pelo interior dos grãos do material. Geralmente, este processo de corrosão é lento e expande-se até atingir o tamanho crítico com a consequente rotura.

2.3.1.4.9. Corrosão por fadiga

Assim como anteriormente foi referenciado no caso de "corrosão-erosão", também convém ter-se uma noção de "fadiga" antes de falarmos da corrosão por fadiga.

Num material, a fadiga é a degradação das propriedades mecânicas do mesmo, quando este é submetido a solicitações cíclicas, levando-o até a rotura. Este fenómeno verifica-se em qualquer componente ou parte que se mova ciclicamente, como por exemplo as asas de um avião em voo. Este processo de corrosão inicia-se geralmente a partir de fissuras à superfície do material e progride perpendicularmente à tensão a que esta sujeita. Esta progressão é originada por uma deformação plástica na base da fissuras, juntamente com o aumento constante de concentração de tensões, até esta atingir uma dimensão crítica e fracturar-se bruscamente, causando a chamada "falha por fadiga". Podemos determinar a resistência à fadiga dos materiais através de curvas de fadiga, onde são relacionadas a tensão aplicada e o número de ciclos necessários para que ocorra fadiga. Um processo de corrosão pode originar fissuras superficiais, iniciando assim a fadiga, como foi referido anteriormente. A base da fissura é uma zona tensionada e encruada, que age como ânodo em relação ao resto do material. Nesse caso, quando um electrólito penetra no interior da fissura provoca corrosão e acelera a progressão da mesma.

2.3.1.4.10. Corrosão química

A corrosão química, também conhecida por "corrosão seca", ocorre num meio ausente de água e geralmente em temperaturas elevadas para que consiga atingir energia para a reacção,

facto esse que não acontece à temperatura ambiente. Este tipo de corrosão deve-se à interacção directa entre o meio corrosivo e o metal, sendo este processo acompanhado de temperaturas elevadas.

É também conhecido por processo de corrosão ou oxidação em altas temperaturas. A corrosão química verifica-se principalmente na indústria, principalmente em equipamentos que trabalham com temperaturas elevadas como fornos, caldeira, etc.

2.3.1.4.11. Corrosão bacteriana

A corrosão bacteriana, também designada por corrosão microbiana, é provocada por microorganismos e pode propagar-se em materiais metálicos e não metálicos, existindo ou não oxigénio em ambos os casos. Células de concentração podem ser formadas na deposição de produtos de corrosão, originando desta forma a corrosão galvânica. A corrosão pode ser acelerada pela diminuição do nível da água, sendo uma forma de corrosão bacteriana bastante agressiva, que pode ser observada em estacas de aço situadas em água marítima, perto da linha de água de maré baixa. Este tipo de corrosão apresenta uma cor alaranjada e tem um odor de ácido sulfúrico, quando é tratada com ácido. Quando estes materiais são revestidos e protegidos catodicamente, não estão sujeitos a corrosão por diminuição de nível de água. Caso contrário, se os materiais não forem revestidos, podem ser protegidos com a instalação de ânodos de sacrifício ou podem ainda ser tratadas electroquímicamente, utilizando um sistema de cloro para eliminar as bactérias em simultâneo com um depósito de calcário, de forma a proteger o metal de outros tipos de ataque.

2.3.1.4.12. Corrosão por Dissolução / Inchaço

A dissolução e o inchaço são dois problemas bastante complicados em certas aplicações de polímeros. A dissolução é originada pela criação de interacções entre o material e um determinado solvente. Estas interacções podem ser de natureza electroestática quando existe interacção entre iões, de natureza química quando existe ligações de hidrogénio ou de forças de Van der Walls, quando o material e o solvente são ambos apolares. Um solvente apolar é aquele que apresenta um valor de permissividade relativa inferior a 15. A polaridade das moléculas de solvente é um factor determinante da sua polaridade e a permissividade é uma medida da polaridade de um solvente, sendo definida como o quociente entre a intensidade do campo eléctrico no vazio e no material em questão. A dissolução de um material pode ser dividida em 3 partes:

- Separação das partículas do material;

- Afastamento das partículas de solvente (de forma a criar espaços que serão ocupados por moléculas do material);
- Estabelecimento das partículas do material e do solvente.

Vários factores afectam a dissolução de um material, nomeadamente a natureza do material e do solvente, a temperatura, o grau de insaturação da solução, a convecção presente e a área da superfície de contacto. Este tipo de degradação é mais difícil de se verificar nos polímeros devido ao seu grande peso molecular, onde muito pouca entropia pode ser obtida através da mistura de uma determinada massa polimérica com outra substância.

O inchaço é um problema mais comum nos polímeros, e resulta de pequenas infiltrações na estrutura, as quais reduzem a resistência e a rigidez, alterando assim o volume do material, levando-o a sua deformação. Estes são dois tipos de corrosão que podem verificar-se principalmente em materiais poliméricos.

2.3.2. Degradação provocada pelo Cloro

Como já foi referido anteriormente, o cloro ao misturar-se com água ou mesmo vapor de água, forma ácido hipocloroso e ácido clorídrico, libertando vapores tóxicos e corrosivos. Todos os processos que usam uma solução de água e cloro devem ser preservados a uma temperatura acima de +9,6^{o}C, evitando assim a deposição de hidrato de cloro sólido, a qual pode causar danos numa instalação, tais como a obstrução de válvulas e tubagens.

Quando o cloro não se encontra à temperatura ambiente e não está diluído em água, reage directamente com a maioria dos elementos, formando posteriormente cloretos metálicos (ferro, alumínio, titânio, etc.) e cloretos não metálicos (enxofre, fósforo, etc.). Sem água, o cloro não ataca o aço, o cobre e o níquel. No entanto, surgindo alguma humidade, é o suficiente para que se inicie rapidamente um ataque corrosivo. Ao contrário destes materiais acima mencionados, o titânio resiste bem ao cloro com água, mas não resiste na ausência de água [4, 13].

Existem materiais que resistem bem a ataques de cloro “seco”, bem como ao cloro com água, como por exemplo o vidro, porcelana, tântalo (elemento metálico, branco-acinzentado, denso, muito duro, usado em ligas especiais), ebonite (substância dura e negra, obtida pela vulcanização da borracha com excesso de enxofre) e alguns plásticos, sendo este último muitas vezes insatisfatório quando se encontra em contacto com cloro liquido. Há cerca de quinze anos, as redes de distribuição de água para consumo humano eram principalmente constituídas por aço galvanizado, tendo sido substituídas ao longo do tempo por aço

inoxidável. O chumbo também era muito utilizado, deixando de o ser por razões de toxicidade transmitidas à água.

No caso do tratamento de água para consumo humano, de forma a evitar microorganismos, a presença de cloro origina a redução do pH, criando uma água mais ácida e gerando desta forma condições para que ocorra corrosão. Para além de perda de espessura ou roturas nas tubagens, a acção corrosiva da água para consumo humano pode também originar produtos de corrosão que podem torná-la imprópria para consumo, devido a não cumprir os requisitos de potabilidade [4, 15].

De forma a evitar este problema, procura-se evitar a acção corrosiva, principalmente nos materiais mais utilizados no contacto directo com a água em instalações de abastecimento, sendo estes na sua maioria metálicos, podendo ser ferrosos, como ligas de ferro (aço-carbono e ferro fundido), aço galvanizado ou não-ferrosas como o cobre e suas ligas (latão, bronze), etc. Serão também abordados os materiais poliméricos, compósitos, madeira, vidro e cerâmicos.

A B

Figura 27 - Cloro em gás (A) e hipoclorito de sódio (B) utilizados na E.T.A. de Vale de Cambra

2.3.2.1. Degradação da madeira pelo Cloro

A madeira é um dos mais antigos materiais de construção. Este material é particularmente valioso quando comparado com as condições corrosivas da maior parte dos materiais comuns quando expostos a ácidos ou ao meio ambiente mais agressivo. A madeira não está sujeita a

corrosão electroquímica. Embora este material também possa ser atacado em condições extremamente ácidas ou alcalinas, pode ser aplicado num intervalo de pH mais alargado que a maioria dos materiais.

A madeira é anisotrópica e a maioria das suas propriedades são diferentes nos três sentidos de crescimento:

- Longitudinais;
- Radial;
- Tangencial.

Em contacto com certos produtos químicos, a madeira apresenta bons resultados, mesmo em condições severas. As madeiras impermeáveis apresentam de uma forma geral, um melhor resultado com produtos químicos, apresentando degradação sobretudo na sua superfície, que, regra geral, é menos prejudicial que os produtos de corrosão dos metais, devido a toda a seiva da madeira ser removida. Este material resiste bem a uma gama alargada de produtos químicos, como por exemplo os ácidos, sendo a sua resistência mais elevada que a maior parte dos metais comuns. Em condições ácidas, comparando com o ferro que começa a corroer com valores de pH = 5, a madeira resiste a um pH = 2, tendo uma taxa de corrosão mais baixa que o ferro. Também em condições alcalinas, a madeira apresenta melhor resistência que muitos metais, podendo suportar valores de pH = 11.

A madeira ainda é um material bastante utilizado para equipamentos contactando com produtos químicos e efluentes, embora tenha vindo a diminuir a sua aplicação com a utilização de polímeros e outros materiais resistentes à corrosão, no entanto, importa referir que a madeira pode ser uma das matérias mais económicas resistentes à corrosão. O ácido nítrico, o cloro e o dióxido de enxofre são bastante destrutivos para a madeira, atacando um componente denominado por "lignina" causando a desfibração superficial.
A lignina ou lenhina é uma macromolécula tridimensional amorfa encontrada nas plantas terrestres, associada à celulose, na parede celular cuja função é de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais. Uma forma de evitar ou minimizar ataques químicos contra a superfície da madeira, passa por aplicar um revestimento de protecção de várias ceras, betume, borracha clorada, polivinilo de cloreto, entre outras.

Dependendo das aplicações pretendidas com este material, a degradação manifesta-se de diversas formas. Em condições marítimas ou químicas, a degradação manifesta-se por

desfibração causada pelo crescimento de cristais de sais retidos nos ciclos de molhagem e secagem como o cloro, ácido nítrico, dióxido de enxofre e sulfitos, sendo esses ataques superficiais no caso de madeiras tratadas e profundas com espécies de madeiras permeáveis.

A degradação química da madeira pelos produtos de corrosão do metal, pode ser originada por três motivos:

- Má construção;
- Má manutenção;
- Inadequadas (permeabilidade) espécies de madeira.

Estes factos permitem que o electrólito e o acesso ao oxigénio promovam um ataque corrosivo dos metais. A decomposição química da madeira por um meio alcalino ocorre em áreas catódicas (metal exposto e presença de oxigénio). O amolecimento e a fragilização da madeira ocorrem em áreas anódicas (metal embutido e oxigénio ausente), causadas pelo ácido mineral a partir da hidrólise do produto de corrosão do ferro solúvel.

Na tabela 2 é apresentada uma lista de madeiras na qual é possível observar a agressividade provocada pela corrosão e os respectivos valores de pH.

Tabela 2 – Nível de corrosão de diversas madeiras com pH típico

Corrosão em madeira		
Madeira	**Nível de corrosão**	**Valores típicos de pH**
Carvalho	Elevado	3,35 – 3,9
Castanho	Elevado	3,4 – 3,65
Faia	Moderado	3,85 – 4,2
Vidoeiro	Moderado	4,85 – 5,35
Teca	Moderado	4,65 – 5,45
Cedro	Moderado	3,45
Pinho	Baixo	5,2 – 8,8
Mogno	Baixo	5,1 – 6,65
Nogueira	Baixo	4,4 – 5,2

Embora não sejam muito frequentes os casos de corrosão associados a madeiras, deve-se considerar a possibilidade deste material sofrer decomposição, dando origem a produtos

corrosivos. Assim, a madeira pode emitir produtos corrosivos, geralmente constituídos por ácido acético, provenientes da hidrólise de substâncias orgânicas, como polissacarídeos acetilados. Embora haja formação de pequenas quantidades de ácidos fórmicos, propiónico e butírico, o ácido acético é o maior responsável pela acção corrosiva da madeira

Em testes feitos relativamente a madeiras em extractos aquosos, mostraram uma correlação geral entre os valores de pH cotados e a corrosividade de vapores da madeira, concluindo que a madeira fortemente ácida (pH < 4) é potencialmente perigosa, mas relativamente segura se tiver um pH > 5. Tratamentos térmicos na madeira são relativamente perigosos, visto que o ácido existente no vapor pode ser expulso, formando outros tipos de vapores acelerando a hidrólise. Endurecedor de acidez volátil, tal como ácido clorídrico presente em colas de contraplacados, contribuem para vapores corrosivos, assim como vernizes e tintas. Concluiu-se ainda que alguns conservantes podem não afectar a emissão de vapores corrosivos a partir da madeira, no entanto, alguns conservantes à base de cobre podem atingir o número suficiente de iões de cobre lixiviáveis, podendo originar corrosão galvânica de outros metais, principalmente alumínio e aço [16].

Na figura 28 é possível observar a agressividade provocada pelo cloro à cobertura do reservatório interno da ETA.

A B

Figura 28 - Degradação da cobertura em madeira do reservatório interno da E.T.A. de Vale de Cambra (A) e pormenor da degradação da imagem A (B)

2.3.2.2. Degradação dos polímeros pelo Cloro

Os polímeros são compostos químicos orgânicos que tem como base elementos químicos como o carbono e o hidrogénio, entre outros não metálicos, tem elevada massa molecular, densidade relativamente baixa e são resultado de reacções químicas de polimerização.

A base dos polímeros são as suas unidades estruturais, denominadas monómeros, que unidas, formam cadeias que chegam a ser macromoléculas. Ou seja, as menores, ao se combinarem quimicamente por valências principais, formam moléculas longas, mais ou menos ramificadas com a mesma composição centesimal. As figuras 29 e 30 esquematizam o fenómeno acima descrito.

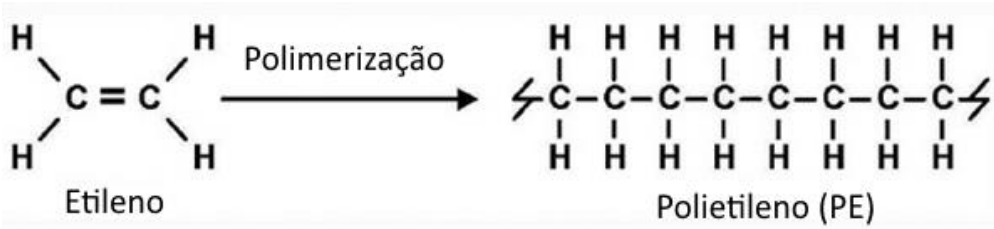


Figura 29 - Polimerização do polietileno

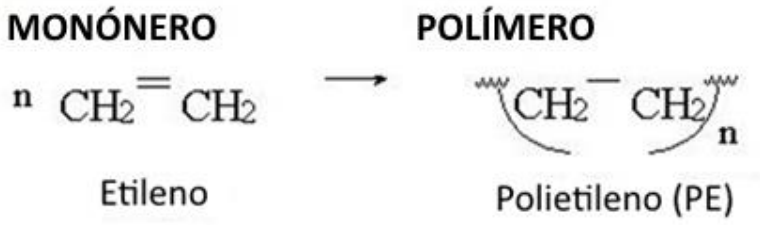


Figura 30 - Reacção monómero – polímero

Os polímeros possuem uma cadeia de natureza homogénea, na qual o esqueleto da cadeia é formado unicamente por átomos de carbono, ou heterogenia, sendo esta constituída por outro tipo de átomos que podem ser obtidos por através dos seguintes processos:

- Polimerização;
- Poliadição;
- Policondensação;
- Outros processos similares com baixo peso molecular ou que derivem de modificações químicas ou naturais.

A degradação dos polímeros merece atenção, uma vez que esse processo tem um tempo de ocorrência muito longo.

Esse processo dá-se pela actuação de agentes causadores de degradação no meio ambiente, causando deterioração progressiva no material, que pode tornar irreversíveis as modificações nas suas propriedades. Dessa forma, é um processo físico, químico ou até biológico que conduz à perda de funcionalidade do polímero e à perda de massa molar.

No que diz respeito à severidade da modificação, quando se altera o aspecto visual do polímero, como a sua cor, é considerada como superficial, não resultando necessariamente, em danos irreversíveis. Já quando altera as propriedades mecânicas, térmicas, de entre outras físicas e químicas, é considerada estrutural, uma vez que compromete o desempenho do material quanto à estrutura.

A degradação nem sempre é um processo prejudicial. É possível a geração de novos produtos, como compatibilizantes a partir da hidrólise da poliamida ou ainda, a biodegradação que permite que os materiais sejam degradados, porém com colocação fora de uso sustentável.

De modo geral, os polímeros são atacados por solventes orgânicos que apresentam estrutura similar e ocorre principalmente pelas seguintes formas:

- Via térmica;
- Via mecânica;
- Via química.

A degradação por via mecânica ocorre por esforços de tracção, impacto, torção, fluência entre muitos outros esforços mecânicos, sempre que estes atinjam valores superiores à resistência do material.

A degradação térmica consiste numa cisão homolítica (ou homólise) da ligação entre monómeros ou nos próprios monómeros, resultando na destruição da organização molecular do polímero (fig. 31).

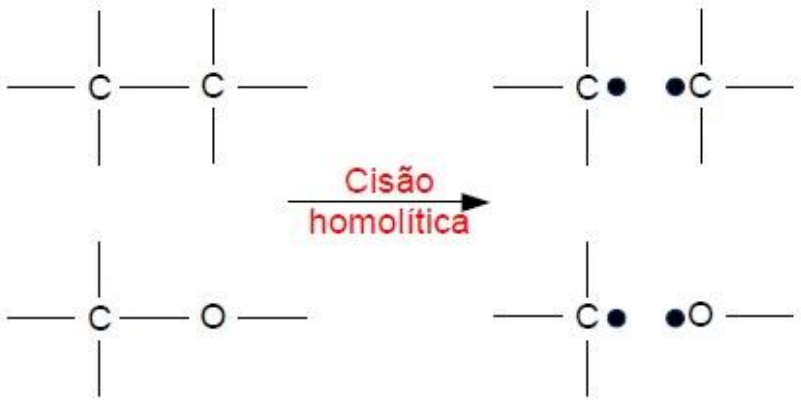


Figura 31 – Princípio do processo de cisão homolítica

A degradação dos polímeros por via química, como o caso de contacto com cloro, recai sobre a coesão da estrutura polimérica, onde irá acontecer rotura, hidrólise ou outras reacções químicas que degradem as ligações entre moléculas ou entre átomos (fig. 32).

Figura 32 – Princípio do processo de cisão heterolítica

A degradação química dos plásticos é diferente da dos metais na medida em que, ao contrário destes, não é essencialmente de natureza electroquímica, isto é, não envolve o fluxo de corrente eléctrica, contudo, continuamos a aplicar o termo “corrosão”. Os polímeros, de uma forma geral, possuem um grande peso molecular. Devido a esse facto, obtém-se muito pouca entropia entre a mistura de um determinado polímero e uma outra substância que dificulta assim a sua dissolução. O ataque químico aos plásticos faz-se por inchamento, dissolução e, sobretudo, quebra de ligação química (por hidrólise, oxidação, etc.) ou por combinação de quaisquer destes efeitos, reduzindo assim as propriedades inicialmente pretendidas e levando desta forma à deformação da peça pretendida. De forma geral, soluções de sais inorgânicos, soluções alcalinas e ácidas fracas, não afectam significativamente os plásticos e os elastómeros. A maioria dos solventes orgânicos, pelo contrário, atacam-nos, especialmente a quente, de forma mais ou menos intensa. Este ataque será tanto maior quanto maior for a

semelhança entre a estrutura do solvente e a do polímero. Assim, por exemplo, os polietilenos são facilmente atacados por óleos constituídos por hidrocarbonetos alifáticos de cadeia longa. Muitos polímeros que podem ser lixiviados, podem também sofrer degradação como a diminuição do comprimento polimérico. As roturas das cadeias poliméricas podem ocorrer através de diversos mecanismos:

- Luz ultravioleta (radiação ionizante);
- Radicais livres e oxidantes (oxigénio, ozono, cloro);
- Rotura provocada pelo ozono (muito comum na borracha natural).

Estes problemas podem ser retardados através de formas simples, como por exemplo por pigmentos de absorção ultravioleta através de dióxido de titânio.

As reacções de degradação, podem ocorrer com ou sem cisão da cadeia principal do polímero. A segunda forma é considerada mais superficial, enquanto a primeira forma resulta em modificações estruturais, podendo ser mais drástica para com as propriedades. A degradação deste material com cisão da cadeia principal do polímero consiste numa rotura heterolítica ou homolítica da ligação entre os monómeros ou até mesmo do próprio monómero, destruindo assim a organização molecular do polímero, como podemos verificar na imagem seguinte. Essa rotura é de natureza química numa molécula polar, na presença de luz, calor ou pressão, em que cada átomo participante irá reter um electrão do par que constituía a união, formando assim radicais livres, instáveis e reactivos [13, 17].

2.3.2.2.1. Degradação dos plásticos

Os plásticos dividem-se principalmente em dois grupos:

- Termoplásticos;
- Termoendureciveis.

Podemos distingui-los através das formas de degradação quando submetidos a altas temperaturas, enquanto os termoplásticos se fundem quando aquecem, os termoendureciveis destroem-se.

2.3.2.2.1.1. Degradação dos termoplásticos

Os termoplásticos são muito utilizados no sector de águas para consumo humanos e residuais, principalmente em tubagens e acessórios. Os polímeros são geralmente formados por aditivos

para que possam atingir as propriedades desejadas, tendo estes que ser compatíveis com os polímeros de modo a não lhe alterar as propriedades finais.

Estes aditivos podem causar contaminação da água, visto que pode haver várias formas de ligação e libertação dos mesmos, podendo ocorrer migração de pequenas partículas se o aditivo for, por exemplo, mais frágil que a cadeia do material polimérico base [18].

2.3.2.2.1.2. Degradação dos Termoendureciveis

Os Termoendureciveis são também conhecidos por polímeros reactivos, são menos utilizados que os termoplásticos no sector da água destinada ao consumo humano. No contacto directo com a água, este material tem sido recentemente utilizado em condutas de grande dimensão ou no revestimento da superfície interna de reservatórios. Este material não é reutilizável, visto que o quando solidifica, formam um corpo sólido e estável. Um exemplo deste material é o epóxido, como já foi referido em capítulos anteriores, os quais são utilizados para proteger superficialmente condutas de água. Alguns produtos podem também ser utilizados na produção dos compósitos de fibras de vidros, reservatórios e tubagens [17].

Estes polímeros têm uma forma irregular, são amorfos e por causa da estrutura de rede são invariavelmente rígidos. Não se dissolvem sem decomposição, mas podem inchar em solventes apropriados, diminuindo o inchaço com o aumento da densidade de reticulação. Certos termoendurecíveis bem conhecidos incluem os compostos fenólicos, ureia-formaldeído e melanina-formaldeído plásticos, poliésteres e epóxidos [18].

2.3.2.2.2. Degradação dos elastómeros

Os elastómeros são constituídos por macromoléculas naturais ou sintéticas, que retomam rápida e fortemente a sua forma inicial, sempre que uma força externa que estava a provocar a sua deformação deixar de actuar. Geralmente este fenómeno ocorre quando o material se encontra a temperaturas situadas entre 18°C e 29°C.

Este material é muito utilizado para contactar com água, principalmente para efeitos de vedação como “o-rings”, juntas, conectores flexíveis, uniões, entre outros.

As moléculas de elastómeros podem ser cloradas e/ou bromadas. Os elastómeros podem ser vulcanizados para um estado em que podemos dizer que se tornam “insolúveis” quando estão em contacto com certas soluções, no entanto, a influência dessas soluções pode degradar o material sob forma de inchaço. Ao serem vulcanizados, tornam-se muito interessantes para aplicações em contacto com a água, devido a uma enorme deformação sem que haja rotura.

Um elastómero muito referenciado no nosso meio é a borracha, obtido através de elastómeros e substâncias auxiliares por formação em rede a uma escala molecular, geralmente a temperaturas elevadas, podendo o processo ser efectuado sob pressão ou não [17].

2.3.2.3. Degradação dos metais pelo Cloro

A água pode conter vários contaminantes ou impurezas. Dependendo da utilização que iremos pretender dar à água, é importante considerar a influência desses contaminantes na acção corrosiva da água. Tendo em conta que este estudo se destina particularmente a materiais para contacto com água destinado ao consumo humano, o mesmo irá focar-se sobre materiais utilizados em contacto com água potável tratada.

A água químicamente pura, é constituída por moléculas que se apresentam ligadas por ponte de hidrogénio, contudo, a água contém sempre outras substâncias, dissolvidas ou em suspensão, que podem ser consideradas impurezas, tais como:

- Sais;
- Ácidos;
- Gases dissolvidos;
- Material em suspensão;
- Microorganismos.

Tendo em conta a finalidade que queremos dar à água, devemos dar importância a estas impurezas de forma a evitar problemas de utilização, assim como problemas de corrosão. Um dos factores a ter em conta é a possibilidade de acções combinadas de solicitações mecânicas e do meio corrosivo no qual se encontra, podendo, com a movimentação de fluidos apresentar corrosão acelerada pela acção conjunta de factores químicos como o cloro, no caso do tratamento de água. Tendo em conta que as impurezas podem originar deterioração dos equipamentos e tubagens destinados ao consumo humano, devem então ser considerados os factores que mais frequentemente influenciam a acção corrosiva da água, sendo eles:

- Sais dissolvidos (cloretos de sódio, etc.);
- Gases dissolvidos (cloro, oxigénio, etc.);
- Matéria orgânica;

- Sólidos suspensos;
- Bactérias.

Os sais dissolvidos podem agir acelerando ou retardando a velocidade do processo de corrosão, sendo o cloro um dos sais que influencia com maior frequência o ataque.

Na corrosão, o efeito do hipoclorito de sódio deve-se ao facto deste composto ser um forte electrólito, originando desta forma um aumento de condutividade que, como já foi anteriormente referido, é fundamental no mecanismo electroquímico de corrosão. A solubilidade do oxigénio diminui continuamente com o aumento de concentração de NaClO, o que explica em muitos casos a diminuição da taxa de corrosão em concentrações elevadas de NaClO (fig. 33).

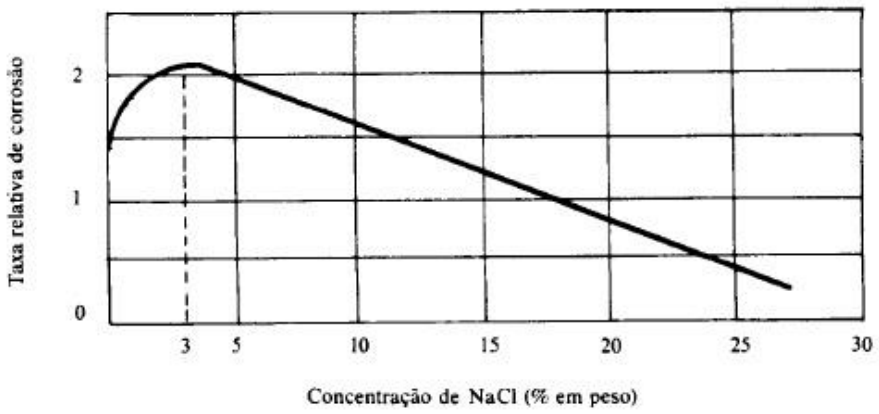


Figura 33 - Efeito da concentração de NaCl na taxa de corrosão

Deve no entanto ser compreendido um ponto importante que é o aumento inicial da taxa de corrosão, pois a solubilidade do oxigénio diminui mesmo com adições mínimas de NaCl. Dando o exemplo do ferro, **Vicente Gentil** [16] explica que, se em água destilada (apresentando baixa condutividade), ânodos e cátodos devem estar relativamente próximos, logo, os iões OH^- formados nos cátodos estão sempre próximos dos iões Fe^{2+} formados nos ânodos, formando um composto $Fe(OH)_2$ adjacente à superfície metálica, funcionando como uma barreira à difusão. Após esta dedução, concluiu que em soluções de NaCl, sendo um composto que apresenta uma condutividade elevada, provavelmente os ânodos e os cátodos adicionais podem agir apesar de estarem afastados entre eles, e em tais cátodos, os iões OH^- não reagem imediatamente com os iões Fe^{2+} formados nos ânodos, já que eles se difundem na solução e reagem para formar $Fe(OH)_2$ fora da superfície metálica, não exercendo assim uma acção

protectora. Devido a este fenómeno, concluiu que o ferro corrói-se mais rapidamente em soluções de NaCl, porque uma quantidade mais elevada de oxigénio dissolvido pode atingir as áreas catódicas, dando origem a despolarização, implicando desta forma um aumento da velocidade da reacção catódica. Visto que a taxa de reacção anódica (corrosão do ferro) depende da velocidade da reacção catódica (consumo de electrões), este material irá corroer mais rapidamente.

Deve também ser referida a influência do ião Cl^- na destruição da camada passivante dos aços inoxidáveis e das ligas de alumínio, visto que pode penetrar na camada passivante de óxidos, de crómio e de alumínio, respectivamente, ou dispersá-las sob a forma coloidal, causando corrosão por picada. Este tema será abordado posteriormente.

Geralmente, quando um sal como o cloro (electrólito) é aplicado na água, aumenta a velocidade dos processos de corrosão, contudo, convém não generalizar esta afirmação, visto que os sais dissolvidos podem ter o efeito contrário e retardar o processo corrosivo. Como a água pode decompor alguns sais dissolvidos, deve-se considerar esta acção denominada por "hidrólise". A hidrólise ocorre principalmente em águas industriais com alguns sais, entre os quias, os cloretos. Na hidrólise dos sais devem ser consideradas duas possibilidades:

- Sais cuja parte catiónica se hidrolisa formando soluções ácidas (baixa o pH, pH < 7);
- Sais cuja parte aniónica se hidrolisa formando soluções básicas (aumenta o pH, pH > 7).

Na primeira circunstância pode ocorrer corrosão, com desprendimento do hidrogénio, visto que o meio ácido formado atacará o metal, daí a acção corrosiva de sais de cloretos de ferro, de alumínio e de magnésio.

Na segunda circunstância, os sais hidrolisam-se, formando um meio básico ou alcalino que pode agir como inibidores de corrosão, podendo passivar certos materiais como o ferro estando em presença de oxigénio dissolvido.

Quando os sais se dissolvem na água, caracterizam o tipo de água denominando-a por "água dura", e por "água permanente" quando se apresentam sob a forma de sulfatos ou cloretos.

Na apreciação da acção corrosiva da água, não devem ser apenas considerados os agentes químicos, mas também outras variáveis influentes como a temperatura, velocidade, acção mecânica e sobretudo o pH.

O cloro também pode ser aplicado na água sob a forma de gás, destacando-se os seguintes como sendo os mais comuns:

- Oxigénio;
- Gás sulfúrico;
- Dióxido de enxofre;
- Trióxido de enxofre, amónia;
- Dióxido de carbono;
- Cloro.

Alguns destes gases encontram-se sempre contidos na água, como o oxigénio e o dióxido de carbono, enquanto outros, como o cloro, aparecem devido ao tratamento de água para consumo humano, por exemplo. O oxigénio é considerado um factor de controlo corrosivo, podendo acelerá-lo ou retardá-lo. Acelera-o no caso de agir como despolarizante na área catódica, na qual em meio não-arejado, a reacção é muito lenta (praticamente desprezável). Pelo contrário, se houver presença de oxigénio, ocorre a sua redução na área catódica, acelerando o processo de corrosão [16].

2.3.2.3.1. Materiais ferrosos

Como o nome indica, os metais ferrosos são constituídos na sua maioria por ferro (Fe) e podem conter pequenas quantidades de outros elementos, como carbono ou níquel, numa proporção específica, que são adicionados para alcançar as propriedades desejadas. Todos os metais ferrosos são geralmente magnéticos e têm alta resistência à tracção, tendo como grande inconveniente sofrerem ataques corrosivos com alguma facilidade.

A

B

C D

Figura 34 - Aspecto de corrosão em materiais ferrosos: abraçadeira metálica (A), balança (B), suporte de tubagem (C) e tubagem metálica (D)

2.3.2.3.1.1. Degradação dos aços e ferro fundido

Os aços são ligas nas quais o principal elemento é o ferro (Fe), contendo carbono que, mesmo presente em pequenas quantidades, tem uma influência fundamental. A presença do carbono aumenta significativamente a resistência mecânica do aço. Este material é muito utilizado devido a vários factores como a sua boa resistência mecânica, ductilidade, baixo custo, serem facilmente maquináveis e a facilidade de poderem ser tratados termicamente, na maior parte dos casos. Contudo, este material também apresenta características menos boas, principalmente a fraca resistência à oxidação. Apesar de ser um material passivável, tem que ser protegido através de pintura, galvanização, deposição electroquímica entre outros.

Este material degrada-se principalmente pelo fenómeno de corrosão, sobretudo quando se encontra em contacto directo com água e na presença de oxigénio. Este fenómeno acontece especialmente em tubagens destinadas a água para consumo humano, devido também à influência dos produtos químicos utilizados. O processo de corrosão depende principalmente do estado das superfícies e das soldaduras impostas ao material, sendo estes os pontos de origem da corrosão.

A deposição de matérias sólidas contidas na água (areias, limalhas, carbonatos de cálcio) ou mesmo bolhas de gás que se libertam por acção de temperatura ou alteração de pressões, impedem a formação do filme protector, iniciando assim o processo de corrosão. Por via mecânica, a degradação deste material ocorre a tensões e temperaturas que não se verificam nos sistemas de captação, tratamento da água, armazenamento e distribuição.

Os ferros fundidos contam com uma grande diversidade de propriedades, dependendo dos elementos que os constituem. Este material é indicado principalmente para formas complexas,

por lhe ser dada a forma através de processos de fundição, como o nome indica, em vez de serem maquinados quando se encontram em estado sólido. Estes materiais contêm entre 2% a 3% de carbono (mais que outros aços referidos neste capitulo) e entre 1% a 3% de silício. Em casos específicos, para melhorar as suas propriedades, é possível adicionar-lhe outros elementos metálicos e não-metálicos.

Dependendo do teor em carbono que albergam e da forma como o carbono está agregado na matriz, os ferros fundidos poderão ser classificados da seguinte forma:

- Ferro fundido branco:
- Ferro fundido cinzento;
- Ferro fundido maleável;
- Ferro fundido nodular;
- Ferro fundido dúctil.

Este material é muito utilizado em tubagens para abastecimento de água, geralmente com revestimento na superfície interna em resina epóxida.

A degradação dos ferros fundidos é semelhante à dos aços normais, no entanto, estes têm uma forma de corrosão típica denominada “corrosão selectiva”, mais propriamente a “grafitização”, que consiste no desaparecimento de constituintes do material, subsistindo apenas a grafite.

O ferro fundido cinzento é um dos mais utilizados nas tubagens de abastecimento de água. Neste tipo de ferro fundido, a maior parte do carbono encontra-se na matriz sob a forma de grafite, sendo a outra parte combinado sob a forma de carboneto de ferro, Fe_3C, designada habitualmente por cementite. Comparado com o ferro fundido nodular e dúctil, estes últimos contêm magnésio e um teor mais elevado de silício. Como já foi referido, o ferro fundido cinzento é muito propício à corrosão grafítica, quando se encontra principalmente em contacto com águas ácidas ou salinas. Este processo inicia-se com a oxidação do ferro, corroendo o ferro metálico sem afectar a grafite. No caso do aço ao carbono, verifica-se a corrosão pronunciada por formação de picadas ou alvéolos.

Na corrosão grafítica, o material permanece visualmente inalterado, mantendo as formas e distâncias originais, alterando principalmente as propriedades mecânicas do material. **Vicente Gentil [16]** explica este facto admitindo que, no caso de corrosão grafítica homogénea e

superficial, os produtos de corrosão vedem os poros de grafite, sendo esta acção facilitada pela sua estrutura constituída por camadas de carbono ligados hexagonamente. A reacção na área anódica envolve a dissolução da matriz de ferrite e caso o produto de corrosão seja removido pela solução circulante, acumulam-se flocos de grafite residual na superfície. Quando a camada de grafite atinge uma determinada espessura, os poros são vedados com produtos sólidos de corrosão como Fe_2O_3 ou Fe_3O_4, podendo diminuir ou impedir a corrosão do restante material metálico, formando uma barreira contra o meio corrosivo e a difusão do oxigénio. Actualmente, podemos ainda verificar tubagens antigas em ferro fundido, visto que o processo de corrosão grafítica não é acelerado devido à formação de uma barreira protectora, assim como pelo facto da água conter baixos teores de sais, tais como cloretos.

Podemos observar em tubagens de ferro fundido e aço ao carbono, após algum tempo de utilização, a deposição de incrustações sob a forma de tubérculos de cor geralmente castanho-laranjada, que trazem sérios inconvenientes na distribuição de água potável (fig. 35).

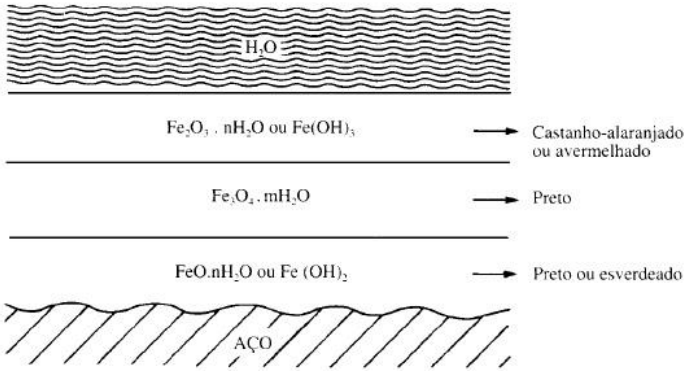


Figura 35 - Constituintes do produto de corrosão, tubérculos sobre aço em presença de água

Uma das origens do ferro, presente nos tubérculos, é devido à corrosão das tubagens, estando geralmente associada a:

- Oxidação do ferro, pelo oxigénio presente na água, formando óxidos de ferro hidratado;
- Oxidação do ferro, devido ao pH ácido originado pela cloração;
- Presença de sais de cobre dissolvidos na água, reagindo com a tubagem, oxidando-a e reduzindo-se o cobre [16].

2.3.2.3.1.2. Degradação dos aços inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são ligas Fe-Cr que possuem no mínimo 10,50% de Cr, permitindo a formação de um extenso conjunto de materiais através da adição de outros elementos. Como todos os aços, os inoxidáveis também contêm carbono entre outros, como o silício (Si), manganês (Mn), fósforo (P) e enxofre (S), no entanto, podemos destacar dois elementos:

- Crómio;
- Níquel.

O crómio é um elemento importante na resistência à corrosão, enquanto o níquel contribui para a melhoria das propriedades mecânicas.

Existem diversas classificações dos aços inoxidáveis, no entanto, podemos dividi-los aços inoxidáveis em dois grandes grupos principais:

- Série 400;
- Série 300.

A **SÉRIE 400** são aços magnéticos e apresenta uma estrutura cubica de corpo centrado (CCC), sendo basicamente ligas Fe-Cr, a qual pode ser dividida em dois grandes grupos:

- Ferríticos;
- Martensíticos.

Os ferríticos e os martensíticos distinguem-se principalmente pelo teor de crómio e de carbono, ou seja, os ferríticos apresentam geralmente um teor de crómio mais alto e um teor de carbono mais baixo, ao contrário dos martensíticos que apresentam um teor de crómio mais baixo e um teor de carbono mais alto (fig. 36).

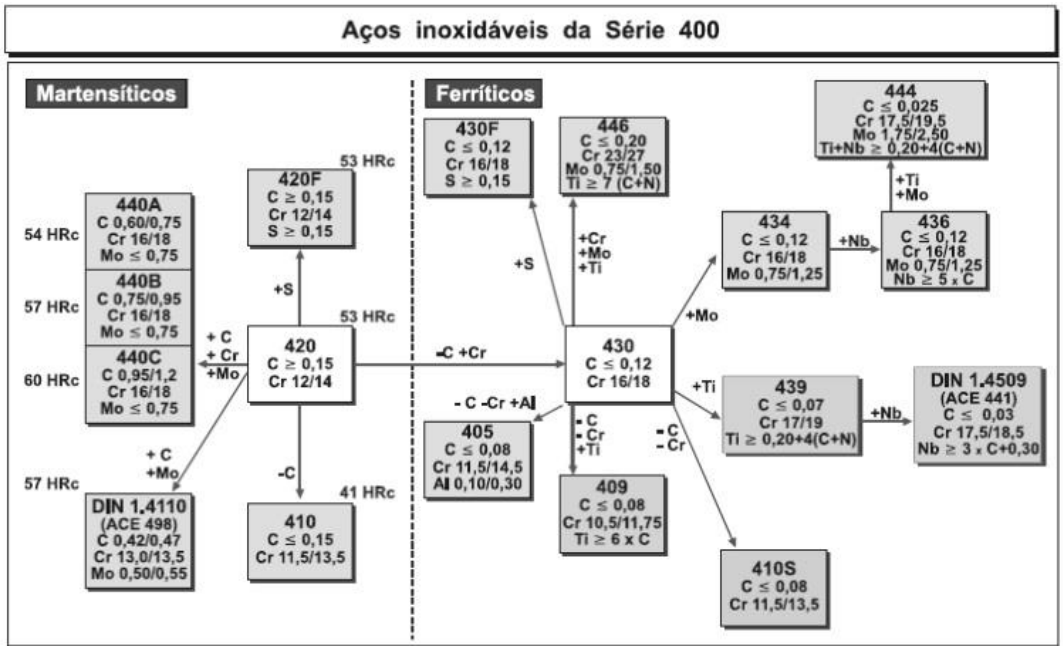


Figura 36 - Aços inoxidáveis da série 400

Os martensíticos

Nos aços inoxidáveis martensíticos, a ferrite transforma-se em austenite devido a uma determinada concentração de carbono em altas temperaturas, transformando posteriormente a austenite em martensite durante o arrefecimento. A martensite é uma fase rica em carbono, frágil e muito dura, sendo produzidos e vendidos pela indústria siderúrgica no estado de recozido, possuindo uma estrutura ferrítica de baixa dureza e elevada ductilidade. Estes aços só apresentarão uma estrutura martensítica depois de sofrer um tratamento térmico de têmpera. Estes aços são resistentes à corrosão quando estão temperados.

Os ferríticos

Como já foi referido anteriormente, os aços inoxidáveis ferríticos possuem geralmente um teor de crómio mais elevado que o dos martensíticos, melhorando a resistência à corrosão, contudo, o aumento de crómio não traz apenas benefícios, visto que prejudica outras propriedades, tais como a resistência ao impacto.

A **SÉRIE 300** é constituída por aços não-magnéticos e apresentam uma estrutura cubica de faces centradas (CFC). Estes distinguem-se da série 400 principalmente pela adição de níquel (Ni), sendo basicamente ligas Fe-Cr-Ni que são classificados como aços austeníticos (fig 37).

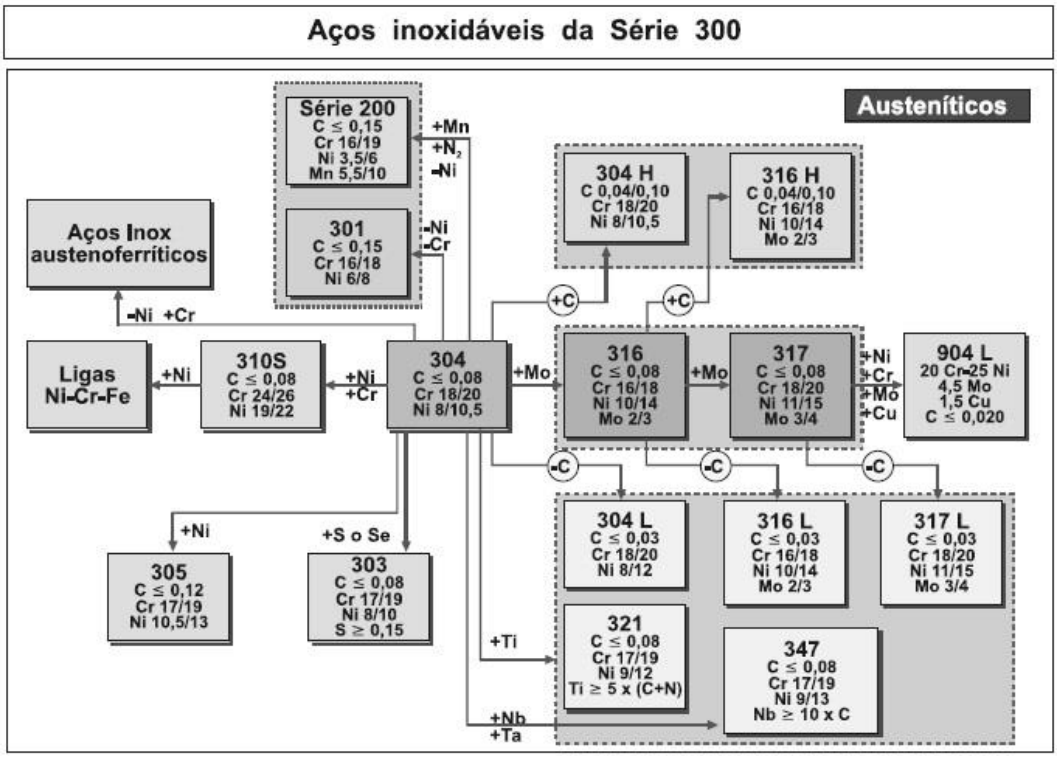


Figura 37 - Aços inoxidáveis da série 300

Os austeníticos

Como já foi referido anteriormente, a diferença entre os aços da série 300 e da série 400 passa principalmente pela adição de níquel como elemento de liga, permitindo transformar uma estrutura ferrítica em austenítica quando é adicionado em determinadas quantidades, alterando deste modo muitas propriedades. Os aços inoxidáveis austeníticos, dos quais se destacam principalmente o 304/304L e o 316/316L, podem ser utilizados à temperatura ambiente, a altas temperaturas, podendo atingir 1150°C e muito baixas temperaturas, atingindo condições criogénicas. Estas condições difícilmente podem ser alcançadas com outros materiais. O aço inoxidável 304 possui uma vasta gama de aplicações, desde utensílios como garfos, facas ou colheres, até a indústria, em projectos de grande responsabilidade. No entanto, o 304 não é o aço austeníticos mais utilizado devido ao meio ambiente em que se pode encontrar.

Um dos problemas do aço inoxidável 304, assim como outros aços inoxidáveis, é a acção corrosiva provocada pelo anião cloreto (Cl^-), dependendo não só da concentração de cloretos no meio, mas também da temperatura e do pH em que se encontra. Num meio deste tipo, a corrosão pode ocorrer sob três formas:

- Por picada;

- Em fendas;
- Sob tensão.

Os aços ferríticos têm mais tendência a sofrer corrosão por picada e em fendas. De um modo geral, os austeníticos são mais resistentes a estas duas formas de corrosão devido à acção do níquel, que ajuda a reformação do filme de passivação do material quando este é quebrado por estas duas formas de corrosão.

O aço inoxidável 316 é muito mais resistente à corrosão, e provém da adição de cerca de 2% de molibdénio no aço inoxidável 304. Podemos referir como exemplo, que enquanto o 304 é aconselhado em aplicações que se encontram à temperatura ambiente com água contendo um máximo de 200 ppm (partes por milhão) de cloreto, o 316 nas mesmas condições pode estar em contacto com água que contenha cerca de 800 ppm. Se a concentração de cloretos for superior a 800 ppm, será necessário aumentar o teor de molibdénio, passando então a ser utilizado um aço inoxidável 317, por exemplo.

Os aços inoxidáveis 304L, 316L e 317L com carbono máximo de 0,03% são versões com baixo teor de carbono dos aços inoxidáveis 304, 316 e 317, e são principalmente utilizados em equipamentos que se encontram em contacto com meios corrosivos em materiais sensitizados.

O comportamento dos aços diferencia-se muito dependendo dos meios ácidos nos quais estes se encontram. Os meios ácidos oxidantes favorecem ou conservam a formação do filme passivo, enquanto os ácidos redutores não permitem a formação desse filme ou destroem-no mesmo, não podendo neste último caso ser aconselhados os aços inoxidáveis.

Em meios ácidos redutores, a corrosão apresenta-se sempre sob forma generalizada, uniforme. No caso do aço inoxidável já possuir um filme passivo, a acção corrosiva irá provocar falhas de oxigénio no filme, como se pode verificar na imagem seguinte (fig. 38).

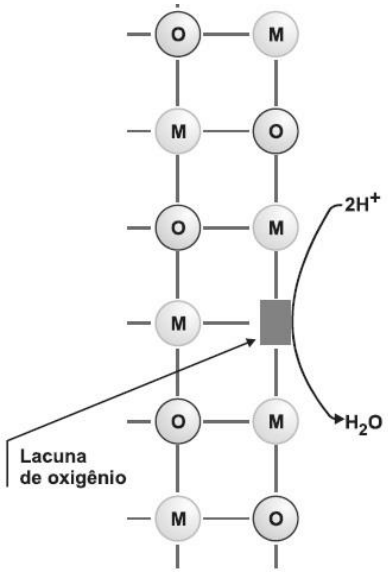


Figura 38 - Lacuna de oxigénio no filme passivo

Em meios contendo o anião cloreto, os aços inoxidáveis podem sofrer principalmente corrosão localizada (por ex.: por picada ou em fendas). Neste caso, o ataque corrosivo irá provocar lacunas metálicas no filme passivante, como podemos verificar na imagem seguinte (fig. 40).

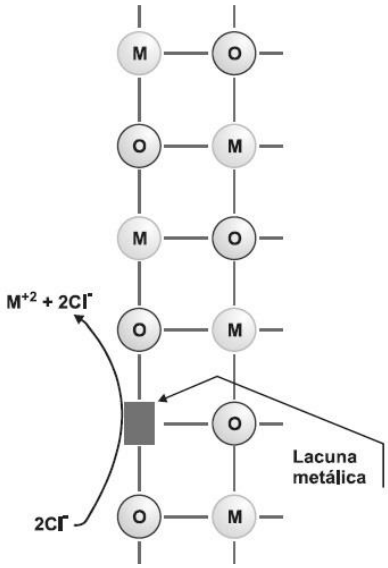


Figura 39 - Lacunas metálicas no filme passivo

A criação destas lacunas aumenta a velocidade com a concentração de cloretos no meio em que o aço se encontra. As lacunas são ocupadas pela migração do metal de base, sendo assim eliminadas, e a sua concentração vai depender da sua velocidade de criação e eliminação. No

caso da velocidade de criação ser predominante, o filme passivo perde coesão e sofre rupturas localizadas. A adição de oxidantes para controlar bactérias, em tratamento de água para consumo humano por exemplo, deve ser realizada com muitos cuidados. Recomenda-se o aço inoxidável 316/316L para soluções que possuam teor de cloro livre entre 3 e 5 ppm, a fim de evitar corrosão em fendas. A figura seguinte relaciona as temperaturas e as concentrações de cloro aceitáveis para o aço AISI 304 e 316. Estes gráficos podem sofrer alterações devido a outros contaminantes que podem estar presentes no meio em que se encontra (fig. 40) [19].

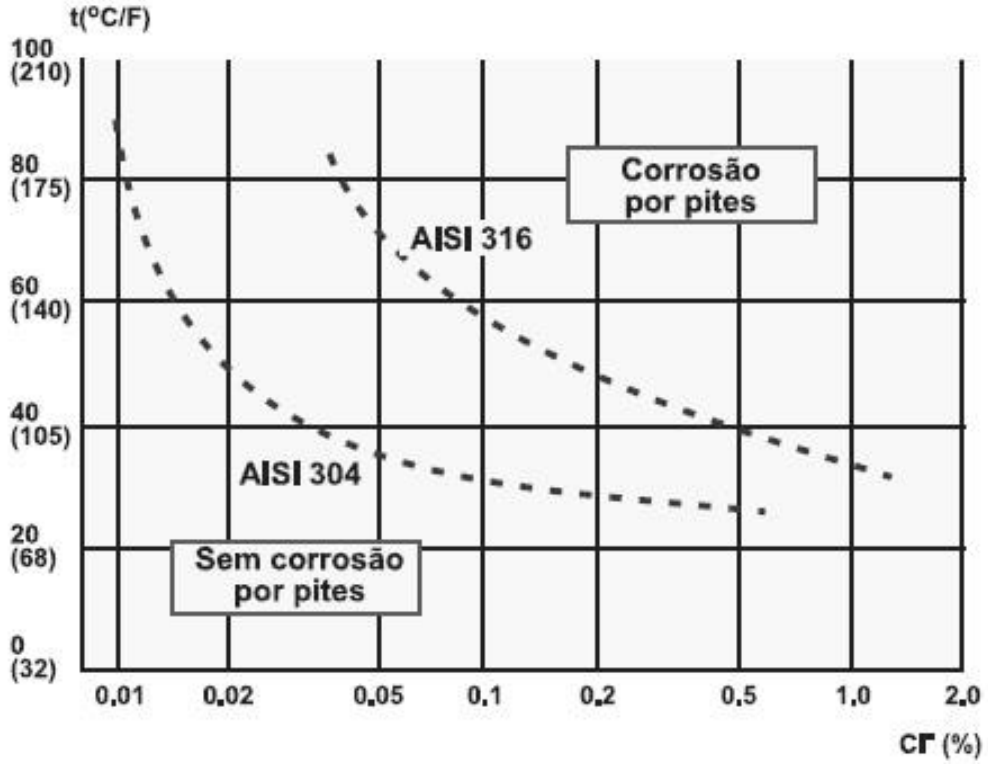


Figura 40 - Teor de cloro aceitável para os aços AISI 304 e 316

A figura 41 exibe um diagrama esquemático, referente ao comportamento potencio-dinâmico anódico de um aço inoxidável austenítico em ácido sulfúrico. Este comportamento é atribuído à presença de um filme protector (Cr_2O_3), com apenas 1 nm (0,001 µm) de espessura sobre a superfície do aço (SEDRIKS, 1979). Essa mesma imagem mostra também o potencial de corrosão (E_{corr}), o potencial primário de passivação (E_{pp}), o potencial de pite (E_p), o potencial da região de transpassividade (E_t) e a corrente de passivação (i_{pas}). Normalmente, consideramos o aço inoxidável austenítico como padrão pelo facto de ocorrer a formação do óxido de crómio Cr_2O_3 considerado sem defeitos, logo uma passivação mais efectiva. O comportamento

potencio-dinâmico anódico de outros metais ou ligas apresentam o trecho de passivação, com uma certa inclinação devido a uma passivação menos efectiva que o aço inoxidável austenítico. O estado de passivação caracteriza-se por apresentar baixas densidades de corrente, constantes ao longo de uma ampla faixa de potencial. Uma corrente de passivação em torno de 1,0 $\mu A/cm^2$, corresponde a taxas de corrosão da ordem de alguns milésimos de mm/ano, desprezível portanto, em termos de vida útil de estruturas e equipamentos. Quanto menor o valor de i_{pas}, menor é a taxa de corrosão do filme passivo, e consequentemente, maior o seu poder protector. Normalmente, verifica-se o deslocamento da curva para a direita como consequência de uma quebra da passividade, que pode ser devido ao aumento da concentração de cloreto. Isto representa uma passivação menos efectiva, e com valores de densidade de corrente crescente, passando a verificar a incidência deste tipo de ataque localizado, relacionado com a perda da passivação em determinados pontos no filme passivo. Na realidade, trata-se de um processo de despassivação localizada, tendo em vista a presença do íon cloreto (SEDRIKS, 1979).

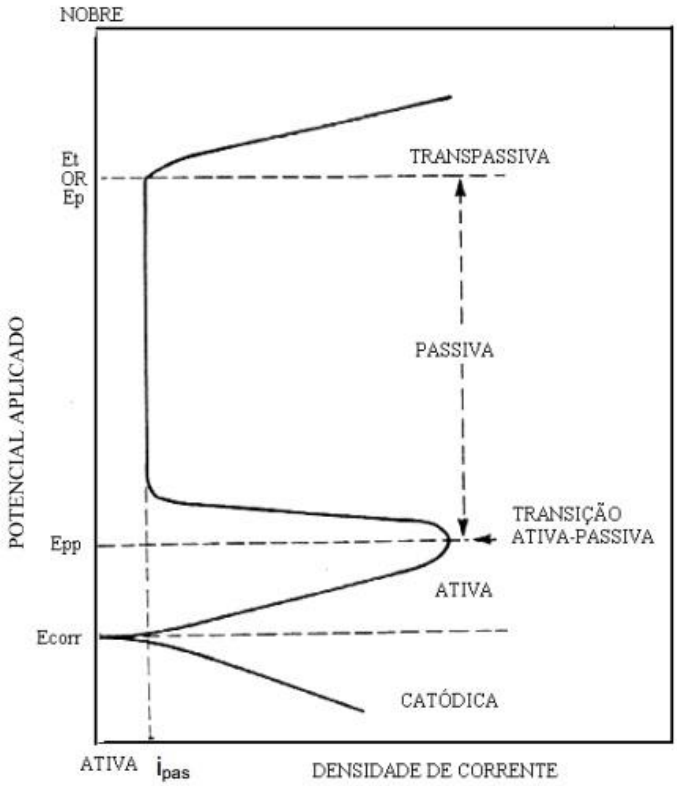


Figura 41 - Curva de polarização esquemática de um aço inoxidável austenítico em solução de ácido sulfúrico

Cabe ainda mencionar, que quando o aço inoxidável é submetido a procedimento de polarização anódica em solução neutra de NaCl isenta de reagente catódico, como o oxigénio, exibe um trecho passivo inteiramente vertical e com densidades de corrente na faixa de 0,1 $\mu A/cm^2$ a 1,0 $\mu A/cm^2$ quando comparado ao alumínio, como se pode verificar na figura 42 [20].

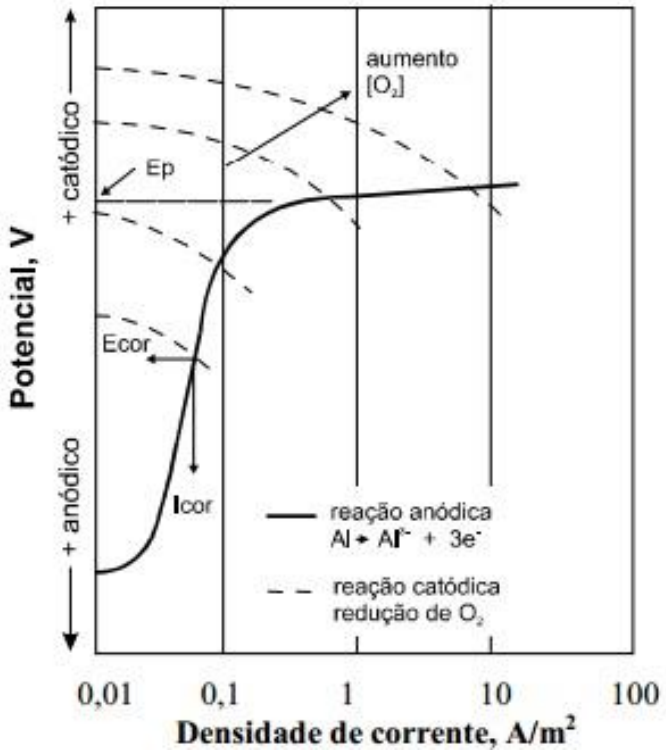


Figura 42 - Diagrama de polarização anódica referente ao comportamento do Alumínio da família AA1100 em solução NaCl neutra

2.3.2.3.1.3. Degradação dos aços galvanizados

A galvanização por zinco (zincagem) das superfícies dos elementos produzidos em aço dá origem ao aço galvanizado. No caso das tubagens destinadas a distribuição de água, este processo passa pela imersão de tubos de aço extrudido em banhos de zinco fundido, o qual ainda tem uma presença significativa nas instalações. Geralmente, este material apresenta uma superfície interna, rugosa originando uma deposição irregular do zinco. Desta forma, alguns pontos do material não estarão cobertos, logo o material não estará totalmente protegido. Esta irregularidade é uma das principais origens de ataques corrosivos. Num caso contrário, se o zinco for depositado duma forma excessiva, conjuntamente com rugosidade superficial, o material pode sofrer corrosão intergranular.

A degradação dos aços galvanizados é semelhante à dos aços correntes. No entanto, o aço galvanizado tem uma forma de corrosão típica denominada "corrosão bimetálica" ou "corrosão galvânica". Este tipo de corrosão ocorre devido à elevada diferencia de potencial entre materiais, sendo o zinco um material muito "electronegativo" e que pode entrar em oposição com um material nobre que será muito "electropositivo". Este processo agrava-se quando se verifica uma elevada condutividade da água, dada por alguns factores tais como [17]:

- Quantidade de iões na água;
- Constituição da água;
- Produtos de desinfecção da água como o cloro;
- A rotura da tubagem inicia-se geralmente através de corrosão por pites (picadas), permitindo desta forma a reparação das mesmas sem que haja penetração de resíduos na rede de distribuição de água.

O aço galvanizado sofre ataques de corrosão mais acentuados dependendo do valor de pH, ou seja, quando o meio se torna muito ácido ou muito alcalino. Como o zinco é anfótero, este sofre acção do meio alcalino ou ácido, observando-se o seguinte [16]:

- Valores de pH entre 6 e 10 → a corrosão é lenta;
- Valores de pH abaixo de 6 e acima de 10 → a corrosão é acelerada.

2.3.2.3.2. Materiais metálicos não ferrosos

Como o nome indica, os metais não ferrosos são todos aqueles em que a constituição não engloba ferro (Fe). São materiais muito utilizados para contactar directamente com água, devido à sua resistência à oxidação ser superior à dos metais ferrosos. Apesar de se degradarem mais lentamente, nem sempre são uma boa selecção devido à degradação ser mais perigosa e poder contaminar a água.

Existem diversos metais não ferrosos, pelo que neste tema serão apenas abordadas as ligas mais utilizadas na distribuição de água para consumo humano, sendo de destacar as seguintes:

- Latão;
- Chumbo;
- Alumínio.

A B

Figura 43 – Exemplos de degradação de materiais não ferrosos: Válvula reguladora de caudal (A) e barramento de quadro eléctrico (B)

Na figura 43, podemos visualizar a degradação de uma válvula reguladora de cloro (esquerda) e de um barramento do quadro eléctrico em cobre (direita). Podemos ainda observar a cor esverdeada relativa ao óxido deste material.

2.3.2.3.2.1. Cobre - ligas

O cobre pode formar ligas com alguns elementos como estanho, silício e zinco podendo-se obter os seguintes constituintes:

- Bronze de estanho – 8-10% Sn;
- Bronze de alumínio – 5-8% Al;
- Bronze de silício – 1,5-3% Si;
- Bronze de zinco – 10% Zn;
- Latão – 30% Zn.

Visto que o cobre é um material nobre, a corrosão deste material é praticamente nula, no entanto, forma uma camada protectora de óxido de cobre, de cor esverdeada, que dificulta a corrosão interna do material, contudo não impossibilita totalmente o ataque do material. A acção corrosiva da água sobre o cobre ou suas ligas, latão e bronzes usados em sistemas de

abastecimento de água pode provocar corrosão uniforme ou corrosão por picadas/alvéolos. A corrosão uniforme está geralmente associada a ácido ou águas ácidas (pH < 7), não reduzindo significativamente a vida útil do material. Pelo contrário, a corrosão por picadas/alvéolos, em pouco tempo, pode provocar perfurações no material, aparecendo sob forma de cavidades.

Ligas de cobre com zinco, como os latões, possuem uma forma típica de corrosão denominada "corrosão por lixiviação selectiva", mais propriamente "deszincificação". Esta forma de corrosão ocorre especialmente em latões ou ligas de cobre com teores de cobre elevados e manifesta-se em pequenas áreas sob forma de alvéolos, ou uniformemente em áreas de maior dimensão podendo ocorrer sob três formas:

- Dissolução simultânea do cobre e do zinco que ocorre anodicamente, produzindo um electrólito com ambos, seguido da deposição do cobre;
- Remoção do zinco deixando poros no seu lugar;
- Efeito combinado das duas formas anteriores.

Os latões corroídos por deszincificação retêm alguma resistência, mas não apresentam a ductilidade inicial, podendo fracturar-se ao ser submetidos a certas solicitações. A deszincificação é facilitada por aeração limitada (como por exemplo em fendas, no fundo de depósitos, entre outros) e é acelerada por temperaturas elevadas, concentrações elevadas de cloretos, ou mais uma vez pelo pH, tanto quando se encontra em soluções ácidas ou fortemente alcalinas. Se o material estiver em contacto com águas naturais, estas também podem influenciar este processo corrosivo, caso contenha dióxido de carbono livre.

O cobre e suas ligas, como qualquer outro material metálico, sofrem corrosão quando são submetidos a condições agressivas como as seguintes:

- Presença de gases dissolvidos como o cloro (Cl_2);
- pH;
- Presença de sais e dureza da água como cloretos (Cl^-);
- Alcalinidade.

O cloro, solubilizado com a água diminui o valor de pH, tornando o meio ácido devido à formação de ácido clorídrico (HCl), como demonstrado nas reacções que ocorrem quando se faz o tratamento de água para consumo humano, de modo a cumprir certos parâmetros bacteriológicos ou sanitários (equação 11 e 12):

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + HCl \tag{11}$$

$$HOCl \rightarrow HCl + {}^{1}/_{2}\, O_2 \tag{12}$$

Daí efectuar a neutralização dessa acidez, após a cloração. O ácido clorídrico ataca o cobre na presença de oxigénio, formando cloreto de cobre, de cor esverdeada (equação 13):

$$Cu + {}^{1}/_{2}\, O_2 + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + H_2O \tag{13}$$

Podemos concluir que o cobre, como qualquer outro material metálico, está sujeito a sofrer corrosão, tendo sido realizadas experiências com latão, (67%Cu e 33%Zn), que em contacto com águas corrosivas, evidenciou deszincificação. Águas com dureza baixa ou com teores de cloro altos são igualmente corrosivas quando sujeitas a temperaturas elevadas, sendo este igualmente um dos factores que influencia a corrosão, assim como a presença de dióxido de carbono. A maioria dos casos de corrosão estudados em tubos de cobre, em diversos países, estão associados a água ácida (pH < 7), água com excesso de cloro, depósitos nas tubagens e presença de gás carbónico [16].

2.3.2.3.2.2. Chumbo

O chumbo foi um material muito utilizado em contacto com água para consumo humano no início do século XX, tendo vindo a diminuir a sua utilização até ser totalmente extinta. Quando se encontra em contacto com água, a degradação do chumbo está associada ao pH, principalmente o pH ácido, e também com o tipo e a concentração de desinfectante residual. No caso de uma estação de tratamento de água referimo-nos ao cloro, que forma óxidos e dá origem a um contaminante muito tóxico ao serem dissolvidos com a água [17].

2.3.2.3.2.3. Alumínio

O alumínio é um dos materiais não-ferrosos mais abundantes na Terra, favorecendo assim o seu uso em grande escala. Este material possui uma vasta gama de propriedades que o tornam interessante como o seu baixo custo, baixa densidade, elevada razão resistência mecânica/densidade, boa aparência, boa resistência à corrosão, etc.

Devido a estas propriedades, o alumínio é utilizado nas mais diversas aplicações como embalagens de alimentos e medicamentos, indústria automobilística e aeronáutica, acessórios que se encontram em reservatórios de água, ou até mesmo os próprios reservatórios, entre outros.

O alumínio puro possui uma boa resistência à corrosão, no entanto, apresenta uma baixa resistência mecânica em aplicações estruturais. A adição de elementos de liga tem como

principal objectivo aumentar a resistência mecânica do material, sendo este processo aplicado para a preparação de uma vasta gama de ligas, dependendo da aplicação desejada, melhorando então a resistência mecânica quando comparado com o alumínio puro. Visto que as propriedades de corrosão destas ligas são inferiores às do alumínio puro, torna-se necessária a utilização de meios de prevenção contra a corrosão.

Na figura 44, podemos observar o sistema de classificação das ligas de alumínio adoptado pela *Aluminium Association em 1971*, sendo actualmente o mais aceite internacionalmente, e subdivide-se em duas partes:

- A adoptada para as ligas trabalhadas mecanicamente;
- A adoptada para ligas destinadas exclusivamente à produção de peças fundidas.

No entanto, os principais elementos das composições das ligas e as suas aplicações gerais são as mesmas.

Série	Composição Química	Aplicações principais
1XXX	Al comercialmente puro	Contactos eléctricos, Alclad.
2XXX	Al-Cu e Al-Cu-Mg	Indústria aeronáutica.
3XXX	Al-Mn e Al-Mn-Mg	Latas de bebidas. Panelas.
4XXX	Al-Si	Metal de adição para soldas. Pistões forjados de motores.
5XXX	Al-Mg	Aplicações náuticas (navios e barcos).
6XXX	Al-Mg-Si	Perfis arquitetônicos. Componentes automotivos.
7XXX	Al-Zn e Al-Zn-Mg	Indústria aeronáutica.
8XXX	Outras ligas (Al-Li, Al-Fe...)	Várias.

Figura 44 – tabela de classificação e aplicações principais das ligas de alumínio

Com vista a melhorar a resistência à corrosão das ligas de alumínio, um dos processos muito utilizados é o “cladeamento”, o qual consiste na laminagem da liga de alumínio juntamente com folhas finas de outra liga, ou mesmo de alumínio comercialmente puro, com menor número de impurezas. As ligas da série 3000 são principalmente usadas em coberturas por apresentarem uma boa resistência à tracção e à corrosão, as ligas da série 5000 são indicadas principalmente para ambientes marítimos e as ligas da série 6000 são principalmente indicadas para a anodização, processo no qual é promovida a corrosão controlada do alumínio,

de modo a aumentar a camada protectora de óxidos. Na figura 45 podemos observar o revestimento por "cladeamento" de uma liga de alumínio AA 7475-T761 por folhas de liga AA 7072.

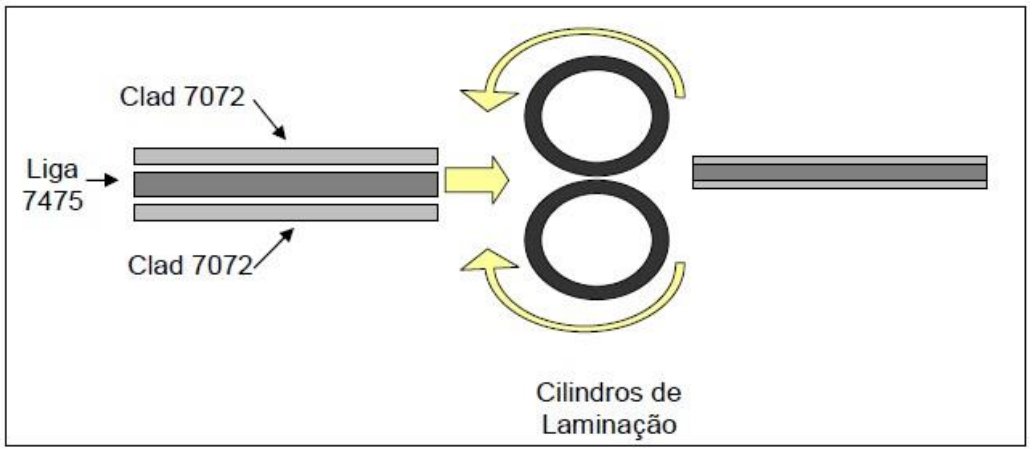


Figura 45 - Esquema simplificado do processo de "cladeamento" da liga 7475-T761

O alumínio sofre corrosão tanto quando se encontra em meio ácido como em meio alcalino, embora para um valor de pH situado entre 4 e 9, correspondente a um intervalo comum encontrado em atmosferas naturais, ocorra formação de uma camada passiva de óxidos protectores, podendo a sua espessura variar em função da temperatura, ambiente e elementos de liga.

Quando o alumínio é utilizado para fins industriais, contactando com produtos químicos, torna-se necessário tomar medidas de protecção de modo a atender às exigências do mercado quanto à vida útil do material, visto que em meios que contenham cloretos como no caso das E.T.A., este mesmo filme passivo é instável e não oferece a protecção adequada.

O diagrama de Pourbaix simplificado apresentado na figura 46 mostra as regiões onde ocorre a passivação, imunidade e a corrosão do alumínio puro.

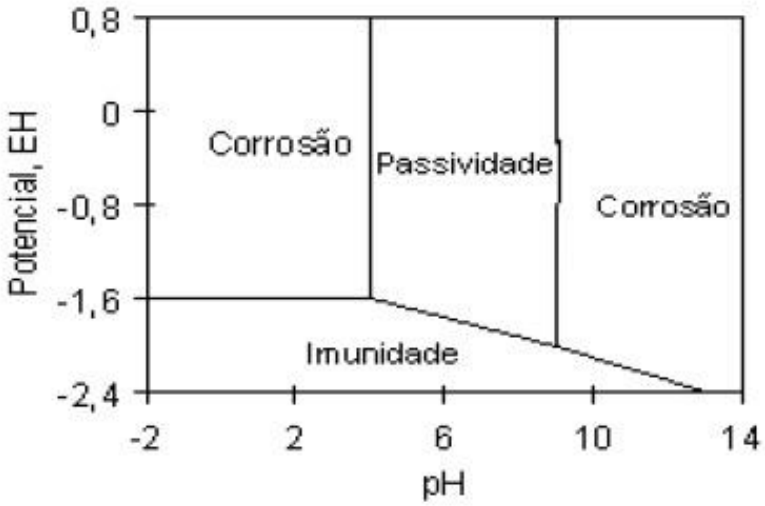


Figura 46 - Diagrama de Pourbaix simplificado para o alumínio

Podemos verificar que a zona passivada do alumínio em meios aquosos ocorre num intervalo de pH que varia entre valores de 4 e 8,5. Essa região corresponde à estabilidade do óxido de alumínio, que protege o metal contra a corrosão. Contudo, em zonas onde o pH se encontra abaixo de 4 ou acima de 8,5, essa camada perde o seu carácter protector devido à alta solubilidade deste óxido encontrando-se tanto em meios ácidos como básicos, expondo o metal base e originando processos de oxidação do alumínio [21].

A figura 47 apresenta um diagrama esquemático referente ao comportamento potencio-dinâmico anódico típico de uma liga relativamente pura de Al (tipo 1100) numa solução neutra de NaCl isenta de reagente catódico, como o oxigénio (HOLLINGSWORTH & HUNSICKER, 1990). O potencial de corrosão E_{cor} e a densidade de corrente de corrosão da liga i_{cor} é definido pela intersecção da curva anódica (linha cheia) com a curva pontilhada da reacção catódica (no caso da reacção de redução do oxigénio dissolvido, em concentrações variáveis). Com baixas concentrações de oxigénio, observam-se valores de i_{cor} com um máximo chegando a 10 $\mu A/cm^2$, exibindo a liga AA 1100, portanto, um filme com características passivas [20].

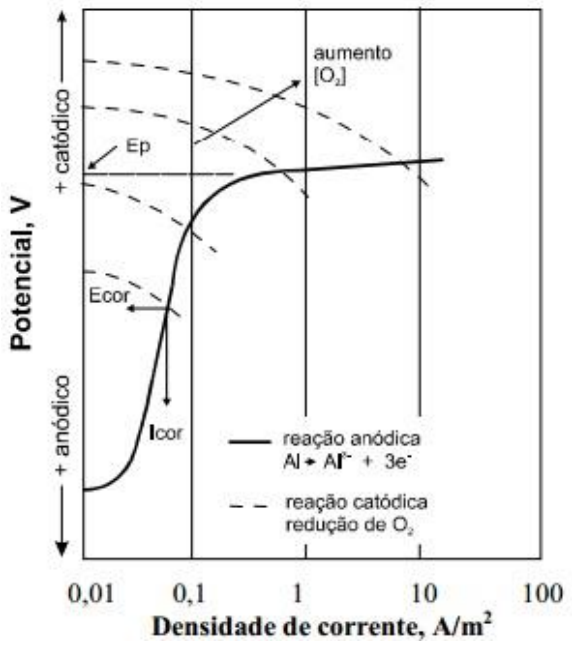


Figura 47 - Diagrama de polarização anódica referente ao comportamento da liga AA 1100 em solução NaCl neutra

Este comportamento é resultante da barreira de óxido hidratado de Al formada na presença da solução aquosa nestas condições (com uma espessura na faixa dos 20 nm a 200 nm). Mais espessa do que o filme passivo do aço inoxidável desenvolvido nestas mesmas condições, a barreira passivante do Al apresenta defeitos microscópicos na sua estrutura, como porosidade e vazios. Analisando-se o primeiro trecho da curva, observa-se que a mesma se apresenta levemente inclinada para direita, podendo esta característica estar associada a estes defeitos.

A quebra ou perda de passividade associada à nucleação do ponto de ataque corrosivo (picadas) pode ocorrer quando factores electroquímicos, mecânicos ou químicos produzem a remoção localizada da película passiva. A quebra electroquímica pode ocorrer se a película passivante possuir pontos fracos onde áreas anódicas locais se poderiam desenvolver na ausência de algum agente oxidante na solução. Essa quebra também pode ocorrer devido à formação de escamações. A presença de fissuras ou poros no óxido pode causar a entrada da solução e ataque do metal abaixo do óxido. A quebra mecânica da película passiva pode ocorrer devido ao encurvamento, riscos, impactos ou a tracção do substrato. Uma vez que os óxidos ou outras películas passivantes são geralmente frágeis, a auto-regeneração da película é possível somente se o metal continuar a existir na solução, sob condições electroquimicamente apropriadas, de forma a ele poder recuperá-la (GALVELLE et al., 1971) [20].

De seguida são representadas as equações 14, 15 (em meio alcalino ou meio neutro) e 16 (em meio ácido), que regem a corrosão do alumínio:

$$Al^0 \rightarrow Al^2 + 3e^- \tag{14}$$

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^- \tag{15}$$

$$2H^+ + 3e^- \rightarrow H_2 \tag{16}$$

Em regiões de intermetálicos das ligas de alumínio, o par galvânico facilita as reacções 2 e 3. Quando o metal se encontra em contacto com a água, oxigénio ou hidrogénio, a célula galvânica completa-se e o metal sofre corrosão. Tendo em consideração que os pares galvânicos nas ligas de alumínio irão sempre existir, visto que os intermetálicos estão em contacto com a matriz, a forma possível de impedir um ataque corrosivo é evitar o contacto do electrólito com a superfície metálica e/ou agentes catódicos, através de barreiras ou inibidores de corrosão.

É importante destacar-se a possível ocorrência de oxidação do alumínio por uma forma especifica de corrosão localizada (corrosão por picada) na região passivada, que consiste num local de corrosão activo possuindo uma região anódica e outra catódica, que se encontram em contacto eléctrico continuo em presença de um electrólito [21].

2.3.2.4. Degradação dos compósitos pelo Cloro

De um modo geral, um material diz-se compósito quando é constituído por dois ou mais constituintes (fases) diferentes.

Têm sido desenvolvidas técnicas de fabrico destes materiais de modo a substituir as ligas metálicas, cerâmicas e poliméricas que atendam às novas exigências tecnológicas. O seu fabrico implica a combinação das duas fases (matriz e reforço) para formar um material que, de certa forma tem melhor desempenho que os seus constituintes numa situação particular, dando origem a uma nova geração de materiais com melhores propriedades mecânicas.

Os compósitos existem sob diferentes formas, no entanto, os mais usuais são geralmente os materiais constituídos por um reforço de fibra embutido numa matriz polimérica. Um outro exemplo comum de material compósito é o betão armado, que não é tão frágil como o cimento, e não corrói tão facilmente como o aço por si só.

A fase matriz pode ser um metal, um polímero ou um cerâmico, que confere estrutura ao material compósito preenchendo os espaços vazios que ficam no reforço e mantendo-o na sua posição.

A fase dispersa ou reforço existe em diversas formas, sendo a classificação mais geral feita em três categorias (fig. 48):

- Compósitos particulados;
- Compósitos de fibras descontínuas (whiskers);
- Compósitos de fibras contínuas.

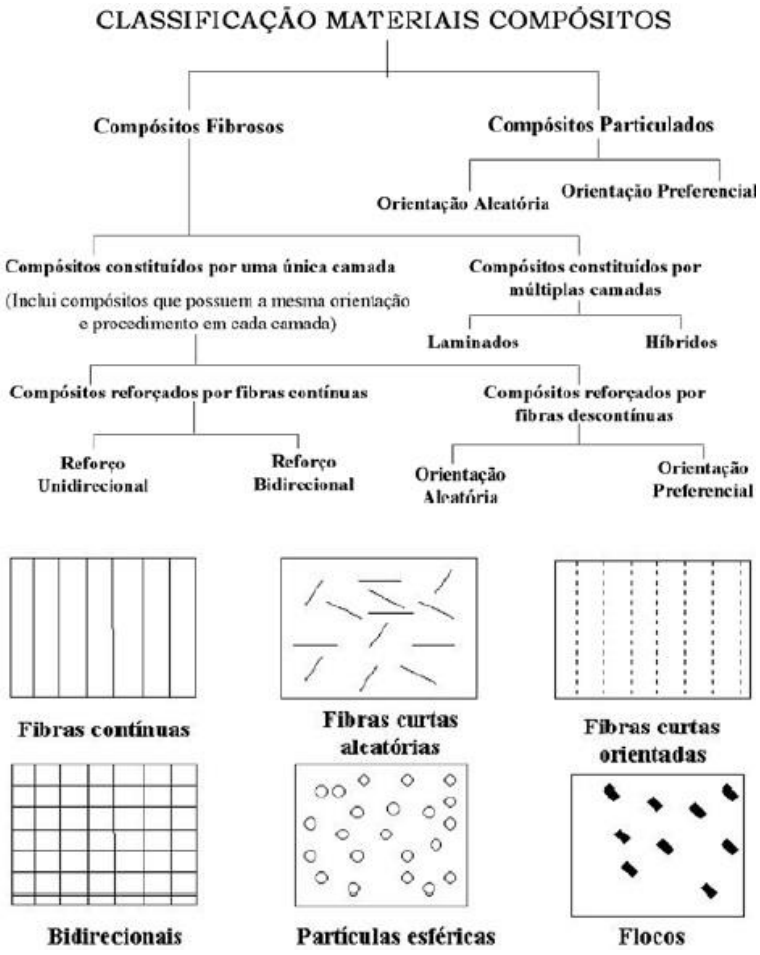


Figura 48 - Classificação dos materiais compósitos segundo o reforço

No geral, os constituintes do reforço dos compósitos proporcionam força e rigidez, mas também aumentam a resistência ao calor, corrosão e condutividade. O reforço pode ser feito

para facultar todas ou apenas uma destas características, dependendo dos requisitos exigidos pelo novo material. Para o reforço representar uma vantagem para o compósito, este deve ser mais forte e rígido que a matriz, e deve ser possível a sua troca quando se notar qualquer falha. Deste modo, a boa interacção entre matriz e reforço pode ser garantida pela criação de uma interface entre ambos que possa adequar a rigidez do reforço com a ductilidade da matriz. Para tal, é essencial que a ductilidade da matriz seja mínima, ou mesmo nula, para que o compósito apresente um comportamento relevante [22].

2.3.2.4.1. Degradação dos compósitos de matriz polimérica

A principal vantagem dos compósitos de matriz polimérica é o seu fabrico que envolve altas pressões e baixas temperaturas, evitando assim problemas associados à degradação do reforço. Por esta razão o desenvolvimento deste grupo de materiais cresceu rapidamente.

As propriedades dos compósitos de matriz polimérica podem variar largamente, dependendo dos tipos de matrizes, reforços utilizados e das várias combinações dos mesmos.

As suas principais desvantagens residem na impossibilidade de trabalho a altas temperaturas, a instabilidade dimensional devido aos elevados coeficientes de expansão térmica, a sensibilidade à radiação e, em alguns casos, a absorção da humidade ambiente.

Os três principais tipos de fibras sintéticas que se usam para reforçar materiais poliméricos são:

- Vidro;
- Aramida (ou poliamida aromática);
- Carbono.

As fibras de vidro são de longe o reforço mais utilizado e o mais barato. São utilizadas para reforçar matrizes poliméricas de modo a se obter compósitos estruturais e componentes moldados. Os compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras de vidro apresentam características favoráveis, como elevado quociente entre resistência e peso, boa estabilidade dimensional, boa resistência ao calor, à humidade e à corrosão, boas propriedades de isolamento eléctrico, facilidade de fabrico e custo relativamente baixo.

As fibras de aramida e de carbono apresentam resistência mecânica elevada, densidade baixa e apesar do seu preço mais elevado, são utilizadas em muitas aplicações, especialmente na indústria aeroespacial. Compósitos reforçados com fibras de carbono são caracterizados pelo facto de apresentarem uma combinação de baixo peso, resistência mecânica muito elevada e

elevada rigidez. As fibras de carbono são fabricadas a partir de dois precursores principais, o poliacrilonitrilo (PAN) e o breu (ou piche). As fibras de aramida começaram a ser comercializadas em 1972 pela Du Pont com o nome comercial de Kevlar e até hoje existem dois tipos: Kevlar 29 e o Kevlar 49.

As fibras de carbono são caracterizadas por possuir resistência mecânica e módulo de elasticidade elevados, assim como uma baixa densidade. As propriedades do Kevlar fazem com que as suas fibras sejam utilizadas como reforço de matrizes poliméricas de compósitos com aplicações nas indústrias aeroespacial, marítima, automóvel e outras [22].

2.3.2.4.2. Degradação dos compósitos de matriz metálica

O início do desenvolvimento dos compósitos de matriz metálica (MMC – *Metal Matrix Composites*) deu-se em meados da década de 60, com a produção fibras de boro e de carboneto de silício para reforçar metais leves, particularmente ligas de alumínio. Nos Estados Unidos, durante a década de 70, diversas pesquisas foram feitas na aplicação de compósitos de matriz metálica em lançadores de mísseis e aeronaves militares. Actualmente, muitos compósitos de matriz metálica estão ainda em fase de desenvolvimento, mas não tão intensamente como os de matriz polimérica. Apesar de o seu uso ainda ser bastante restrito, um exemplo interessante provém da empresa Toyota, que efectuou a substituição de uma roldana em ferro fundido pelo compósito alumínio/fibras curtas de Al_2O_3+SiO_2. Ainda outro exemplo mais radical, foi o promovido pela empresa Honda no revestimento dos cilindros do motor, que pretendeu aumentar a resistência ao desgaste e às altas temperaturas, através do uso de um compósito com matriz de alumínio contendo 12% de fibras de Al_2O_3+ 9% de fibras de grafite.

Outro exemplo de compósito com matriz metálica é novamente a liga de alumínio, desta vez Al-Si, com reforço de 20% SiC (partículas), substituindo ferro fundido em discos de travão.

Conclui-se que a introdução dos compósitos de matriz metálica em componentes automóveis ocorre principalmente por meio de ligas de alumínio, para aumentar a resistência desses materiais e aproveitar o seu grande potencial de redução de peso [22].

Este tipo de compósitos apresenta principalmente degradação na matriz metálica, sendo o tipo de corrosão dependente do tipo de metal utilizado e de forma semelhante as referidas anteriormente, no capítulo de degradação de materiais metálicos.

2.3.2.4.3. Degradação dos compósitos de matriz cerâmica

O crescimento de compósitos de matriz cerâmica (CMC – *Ceramic Matrix Composites*) tem ficado aquém de outros, principalmente devido às altas temperaturas envolvidas nas etapas de fabrico, sendo necessária a utilização de reforços que as suportem. Os principais tipos de compósitos de matriz cerâmica, de acordo com o tipo de reforço usado, são os seguintes:

- Fibras contínuas;
- Fibras descontínuas;
- Reforçados por partículas.

As duas principais variedades de fibras contínuas que têm sido usadas nos compósitos de matriz cerâmica são as de carboneto de silício (SIC) e as de óxido de alumínio (Al_2O_3).

Para as fibras descontínuas (whiskers) e particulados é utilizado o carboneto de silício (SIC). Os materiais compósitos de matriz cerâmica são inerentemente resistentes à oxidação e à deterioração sob temperaturas elevadas. Não fosse pela predisposição destes materiais à fractura, alguns seriam candidatos ideais para uso em aplicações a altas temperaturas e sob severas condições de tensão, especialmente para componentes em motores de turbinas para automóveis e aeronaves [22].

2.3.2.4.4. Degradação em outros tipos de compósitos

Um material importante de referir é o betão, sendo muito utilizado no contacto directo com a água destinada a consumo humano como reservatórios, decantadores, canais de água, tanques de tratamento, etc. O termo betão aplica-se a um aglomerado artificial, no qual os agregados se transformam em massa sólida quando se misturam com cimento e água. Sendo um material compósito, que junta materiais cementícios, metais, rochas ou produtos sintéticos alternativos, tem propriedades físicas próprias, sendo no entanto o produto comentício que constitui a interface com o exterior. Quando esta situação não acontece, a estrutura já se encontra muitas vezes num estado de degradação avançada.

O betão é um dos mais versáteis e usados materiais de construção, apresentando uma elevada durabilidade quando é devidamente concebido e sujeito a condições normais de exposição, sendo a prova visível de inúmeras construções realizadas nas últimas décadas.

No entanto, o betão também se degrada de várias formas, sendo de referenciar as seguintes, como as mais importantes:

- **Carbonatação**, que consiste na reacção dos componentes do betão com o dióxido de carbono atmosférico, que em contacto com a humidade no betão, forma ácido carbónico (H_2CO_3), que vai neutralizar a alcalinidade em que se encontra o betão;

- **Reacções dos álcalis**;

- **Ataques de cloretos**, onde existe uma interacção prejudicial do ião cloreto;

- **Ataques de sulfatos**;

- **Ataques de água, ácidos e sais**.

Os fluidos que transportam os agentes agressivos, podendo ser água bruta ou desinfectada, passam para o interior pelos poros do betão. Esta permeabilidade é a causa dos ataques químicos, podendo ocorrer por três forças:

- **Difusão**, resultando da diferença de concentrações iónicas entre o fluido externo agressivo e o fluido interno dos poros do betão;

- **Pressão hidrostática**, provocada pela diferença de pressão entre os fluidos em superfícies opostas de um elemento estrutural;

- **Força capilar**, em que o líquido penetra nos poros devido a um mecanismo de capilaridade.

A penetração dos fluidos agressivos pode ter origem numa combinação de séries de forças, que podem ser influenciadas pelos efeitos de gradientes de temperatura, gelo, cargas mecânicas, correntes eléctricas, etc.

A formação de ácido carbónico na carbonatação pode ocorrer em três fases:

- Na primeira, o CO_2 dissolvido difunde-se para o interior do betão;

- Na segunda, o CO_2 reage com as moléculas de água (reacção de hidrólise);

- Na terceira, o ácido carbónico resultante reage com os componentes alcalinos do betão.

A carbonatação é originada do exterior para o interior, lentamente, pela exposição ao dióxido de carbono, avançando posteriormente com menor velocidade devido à dificuldade do CO_2 se

difundir através da solução que preenche os poros. De acordo com o diagrama de Pourbaix Fe-H_2O, o aço em meio alcalino do betão forma uma fina camada de óxido que o protege (protecção passiva), enquanto a solução existente no betão se mantiver com um pH alto. Caso o pH baixe devido ao efeito de carbonatação, a camada será dissolvida e a corrosão irá acelerar.

A presença de cloretos conjuntamente com a carbonatação, pode levar à corrosão das estruturas em betão armado. Os cloretos podem ter origem na própria água ou então nos produtos de desinfecção. No betão simples, apenas é alterado o tempo de colagem e a velocidade de endurecimento. Já no betão armado pode actuar na despassivação das armaduras onde os cloretos formam produtos mais solúveis, e por isso menos passivos, o que fará com que estas aumentam significativamente de volume, desgastando de seguida o revestimento do betão, e incrementando ainda mais os processos corrosivos.

Nos dias de hoje, uma das formas mais conhecidas de degradação de betão está associada às reacções álcalis-inerte expansivas. Os inertes são 70 a 80% da constituição em volume do betão. Se tiverem na sua composição alguns constituintes nocivos como matéria orgânica, cloretos, sulfuretos, argila, etc., ou tiverem origem em rochas alteradas aos álcalis, podem ser fortemente condicionadores da durabilidade do betão. As reacções álcalis-inerte possuem um carácter fortemente expansivo, conduzindo a uma fissuração do mesmo podendo mesmo chegar a transpiração à superfície do mesmo, favorecendo ainda a carbonatação acima referenciada. Podemos descrever três tipos de reacções álcalis-inerte como sendo as principais:

- **Álcalis-sílica**, que prevalece em betões com inertes compostos por quartzitos, liditos e calcários com inclusões de sílex e calcedónia, e que se processa a velocidades relativamente elevadas;

- **Álcalis-silicato**, que se encontra em betões com inertes compostos de rochas siliciosas, tais como argilites, filites e grauvaques, de expansão lenta e retardada;

- **Álcalis-carbonato**, que se encontra na presença de carbonatos de cálcio e magnésio.

Importa ainda referir que estes tipos de reacções são condicionadas pelos factores climáticos e litológicos, daí, irão prevalecer de diversas formas em função da origem dos inertes utilizados para cada região.

Os ataques de sulfatos consistem na interacção química entre os compostos de massa de cimento e os iões de sulfatos surgidos do exterior ou dos próprios agregados que constituem a massa. Este mecanismo provoca expansão, fissuração, descamação do betão, amolecimento e desintegração podendo ainda favorecer a carbonatação, atingindo expansões que podem duplicar o volume do betão. O aparecimento de sulfatos pode acontecer por via de constituintes argilosos na forma de sulfatos de cálcio, magnésio, sódio e potássio.

Os ataques através de água pura, sendo estas muito menos reactivas, ácidos e sais, não são geralmente de elevada importância para os materiais em contacto com água para consumo humano, com a excepção das operações de desincrustação e desinfecção dos reservatórios no caso do tempo de contacto ser reduzido [17].

2.3.2.5. Degradação dos cerâmicos e vidros pelo Cloro

A maioria dos cerâmicos são cristalinos, com excepção dos vidros, sendo que as propriedades dos cerâmicos cristalinos dependem da forma dos arranjos dos átomos ou iões, assim como o tipo e natureza dos defeitos. Um ponto importante a ter em mente, é que o termo “cerâmico” que diz respeito normalmente a materiais processados em laboratório ou em fábricas, mas que também existem cerâmicos naturais.

Em rigor, na ciência de materiais, os vidros são materiais não cristalinos e que podem ser produzidos por materiais cerâmicos, ou mesmo não cerâmicos, incluindo materiais metálicos. É um tipo de material que conjuga propriedades de metais, polímeros e cerâmicos.

Os vidros formam-se a partir de uma liga sobre-arrefecida, metastável, que cristalizará (e nesse caso deixará de ser um vidro) se as condições forem favoráveis. A desvitrificação (cristalização de um vidro) é influenciada por quatro factores:

- Tempo;
- Temperatura (quanto mais alta, mais favorece a probabilidade de ocorrência);
- Nucleação;
- Estrutura interna.

A corrosão no vidro de silicato em meio aquoso, muitas vezes designada por “doença do vidro”, é gerada por dois factores:

- Troca iónica (lixiviação controlada pela difusão);

- Dissolução hidrolítica da rede do vidro.

Estes dois factores dependem muito do valor de pH da solução com a qual o vidro se encontra em contacto. Para um pH de 10, a troca iónica baixa, enquanto a taxa de dissolução hidrolítica aumenta. A **troca iónica** é a fase que caracteriza o início da corrosão no vidro, onde os iões alcalinos são substituídos por um ião de hidrogénio (H_3O^+) que irá causar a redução de iões-selectivos de camadas superficiais próximas do vidro. Se numa primeira fase a corrosão é caracterizada pela troca iónica, as fases posteriores são caracterizadas pela **dissolução da rede do vidro**. Este facto liberta iões semelhantes na solução da água. Em sistemas fechados, a absorção de protões numa fase aquosa eleva o pH, causando uma rápida transição para a hidrólise. Uma forma de controlar essa corrosão, é designado por "controlo por difusão", onde a saturação de sílica de solução de hidrólise impossibilita que o vidro regresse a uma troca iónica. Em condições naturais típicas, podemos afirmar que a taxa de corrosão no vidro de silicato é mínima. Este material tem uma elevada durabilidade, sendo muito utilizado para trabalhos ligado a químicos.

Os cerâmicos são um tipo de material que se caracteriza normalmente por ser frágil, com elevado ponto de fusão, mau condutor eléctrico e térmico, e não magnético (com excepções). Esta realidade está no entanto em transformação, com os materiais resultantes da nova geração (cerâmicos tradicionais vs. cerâmicos técnicos). Os cerâmicos tradicionais são baseados em argila e sílica. Existe por vezes a tendência para relacionar estes cerâmicos com baixa tecnologia, contudo, técnicas avançadas de produção são muitas vezes aplicadas sobre estas matérias-primas. Os cerâmicos avançados, também referidos como especiais, técnicos, ou de engenharia, caracterizam-se pelas elevadas propriedades mecânicas, elevada resistência à corrosão/oxidação, e por extraordinárias propriedades eléctricas, ópticas ou magnéticas. Enquanto os cerâmicos tradicionais são utilizados há cerca de 25000 anos, os cerâmicos técnicos resultam dos desenvolvimentos dos últimos 100 anos. Relativamente à sua composição química, os cerâmicos são fundamentalmente:

- Óxidos (Al_2O_3, MgO, BaO, SiO_2, TiO_2);
- Carbonetos (SiC);
- Nitretos (Si_3N_4, BN);
- Sulfuretos (ZnS e carbono).

Do ponto de vista molecular, não existem habitualmente ligações metálicas, mas sim ligações iónicas (MgO, CaO, BaO), ou então covalentes (SiO_2, Al_2O_3, SiC), ou ainda uma combinação destas (Carter, 2007).

Podemos concluir que os **materiais cerâmicos**, na sua generalidade, são praticamente imunes à corrosão, devido às fortes ligações iónicas e/ou covalentes. Essas ligações mantêm os átomos juntos, deixando muito pouca liberdade à energia química na estrutura do material. Nos materiais cerâmicos, a corrosão ocorre quase sempre sob a forma de dissolução, ao contrário do processo electroquímico. Uma forma muito comum de protecção da cerâmica contra a corrosão consiste na adição de cal ao vidro soda-cal, com o objectivo de reduzir a solubilidade da água.

Actualmente são pouco comuns os vidros ou os materiais cerâmicos tipo "tijolo" que estejam em contacto com a água para consumo humano, com a evidente excepção de todos os locais onde a água se armazene ou circule na natureza [17].

2.4. Testes de corrosão

Os testes de corrosão são realizados para caracterizar a agressividade de um determinado meio corrosivo e fornecer fundamentos básicos para o controle da corrosão. A corrosão dos diversos materiais existentes no mundo é influenciada por vários factores que modificam o ataque sofrido, não dando portanto para afirmar que existe apenas um método de testes de corrosão. Na prática, os fenómenos de corrosão multiplicam-se, obrigando a uma larga variedade de ensaios. Os ensaios devem ser efectuados após se ter considerado as exactas possibilidades e desenvolvimento do processo corrosivo. Foram criadas especificações detalhadas para o processamento dos ensaios a fim de se evitar conclusões erróneas e visar uma certa uniformidade à execução dos ensaios de corrosão [16].

2.4.1. Normas e tipos de ensaio para meios aquosos

Como já foi referido anteriormente, não podemos afirmar que existe apenas um método de testes de corrosão. Os ensaios de corrosão podem ser realizados em laboratório, em campo ou em serviço, dependendo dos objectivos que queremos atingir.

Nos ensaios em laboratório, são utilizadas pequenas amostras bem definidas, a composição do meio corrosivo é determinada com exactidão e pode-se manter constantes as condições do ensaio e acelerar o processo (para se conseguir resultados mais rápidos). Estes ensaios são úteis para:

- Estudar o mecanismo do processo corrosivo;

- Indicar o material metálico mais apropriado para um determinado meio corrosivo;
- Determinar os efeitos que os materiais podem ocasionar nas características de um determinado meio corrosivo, como a contaminação por produtos de corrosão;
- Ensaio de controlo para se construir materiais resistentes à corrosão em determinados meios corrosivos;
- Determinar o efeito do processo de fabrico, das impurezas ou elementos constituintes, tratamento térmico e mecânico e do estado da superfície sobre o comportamento do material em estudo num determinado meio corrosivo.

Nos ensaios em campo, a peça a ser tratada está submetida a meios quase idênticos às condições de serviço. Os resultados desses ensaios geralmente são obtidos depois de um longo período de tempo, as condições de ataque muito variáveis e por vezes impossíveis de controlar. Estes ensaios são úteis para:

- Estudar a eficiência de medidas de protecção anticorrosiva;
- Seleccionar o material mais adequado para um determinado meio corrosivo e estimar a durabilidade provável nesse meio.

Nos ensaios em serviço, as amostras são colocadas na instalação ou estrutura real, de modo a poder oferecer informações mais fiáveis do material mais adequado para uma determinada aplicação. Tal como nos ensaios em campo, os ensaios em serviço têm como desvantagem serem antipráticos, caros e requerem tempos de exposição muito longos.

Os ensaios em campo realizam-se em condições semelhantes às de serviço, permitindo uma avaliação mais correcta da acção do meio corrosivo sobre o material. A concordância de comportamento, em meio corrosivo, dos ensaios de laboratório e de campo é frequentemente deficiente, daí ser conveniente nos ensaios de laboratório o uso de amostras dos materiais em estudo. Devido a este facto, os ensaios em laboratório devem ser realizados comparativamente com materiais de comportamento já conhecido [16].

Em muitos países, tem sido aplicada uma descrição detalhada de todos os procedimentos e aparelhagem em ensaios de corrosão. Neste estudo, serão apresentados vários aspectos dos ensaios de corrosão, desde o rigor a ter com as amostras até à avaliação das mesmas. É de

referir que, independentemente do tipo ou objectos de ensaio, é importante ter a informação completa sobre o material, especialmente da composição química.

2.4.1.1. Amostras

2.4.1.1.1. Preparação das amostras

Idealmente, as superfícies das amostras devem ser idênticas às que são utilizadas com material em serviço. Na prática, tal é inevitável já que a maioria dos componentes metálicos em serviço possui quantidades de óxidos superficiais muito variáveis, portanto, para ensaios, a condição superficial da amostra e os métodos de preparação devem ser especificados de forma a se obter reprodutibilidade na natureza da superfície da amostra. Geralmente, as superfícies das amostras são acabadas com lixa nº 120 ou superior. As arestas das amostras devem ser arredondadas de modo a limitar as áreas de ataque preferenciais. As amostras para ensaios que contam com perda de peso para determinar a extensão da corrosão, devem ter uma razão elevada de área sobre massa, a fim de melhorar a precisão dos resultados. Em alguns ensaios, amostras livres de superfícies danificadas mecanicamente são preferíveis, conseguindo-se esta condição através da decapagem das amostras, por exemplo. O último estágio na preparação superficial da amostra consiste geralmente na limpeza, tendo como objectivo a remoção de possíveis impurezas como o óleo, entre outras.

No caso de as amostras serem de aço inoxidável, a preparação superficial também passa pela passivação química. Este método é realizado para assegurar uniformidade no grau de passivação das várias amostras.

Amostras destinadas a ensaios para determinação das velocidades de corrosão devem ter as suas áreas superficiais medidas com precisão antes da limpeza, visto que a área superficial original é utilizada para determinar as velocidades de corrosão durante o ensaio.

2.4.1.1.2. Identificação da amostra

As amostras são geralmente identificadas marcando ou estampando marcas e/ou números sobre elas. Em materiais frágeis, são realizados entalhes nas extremidades. A fim de se conservar a identificação contra a possibilidade de extinção das marcas durante os ensaios de corrosão, as amostras podem também ser identificadas por furos em posições específicas.

2.4.1.1.3. Número da amostra

Na prática, o número de amostras para cada ensaio depende da precisão do método e da uniformidade do material a ser testado, sendo usadas menos duas amostras. No entanto, a precisão do ensaio também aumenta quanto maior for o numero de amostras testadas. Para

análise estática, é recomendado pelo menos cinco amostras. Para informação sobre a velocidade de corrosão é necessário expor amostras suficientes para permitir que conjuntos de amostras sejam removidos após cada intervalo de tempo.

2.4.1.1.4. Duração do teste

A duração do teste depende do parâmetro, ou parâmetros, cuja influência sobre o comportamento de corrosão está a ser estudada e o tipo de resistência a ser medida. Em ensaios de laboratório, a duração não é longa, principalmente para evitar variações significativas do meio em que se encontra, resultando na acumulação de produtos de corrosão ou redução do principal agente corrosivo. Em vários casos, a velocidade de corrosão diminui com o tempo, visto que a película do produto de corrosão forma uma barreira entre os reagentes. Tem sido sugerido que a duração do ensaio deverá ser suficientemente longa se a velocidade de corrosão "mdd x número de horas" ("mdd" uma unidade normalmente utilizada para expressar a taxa de corrosão, relacionada com a variação de massa, e é expressa em miligramas por decímetro quadrado de área exposta por dia. O número de horas utilizado para o cálculo diz respeito a duração em horas a que foi sujeito o ensaio), seja igual ou superior a 10,0. Esta relação é baseada na regra geral de que quanto mais baixa é a velocidade de corrosão, mais longo deve ser o ensaio. Ensaios atmosféricos nos quais painéis são expostos às condições atmosféricas, tem geralmente duração de quatro anos. Em atmosferas rurais mais leves, a duração é maior. Ensaios em campo em águas naturais ou solo, duram geralmente mais de três anos.

2.4.1.1.5. Tamanho e forma da amostra

Amostras na forma de quadrados, rectângulos, discos ou cilindros, são frequentemente utilizadas visto a preparação superficial ser mais fácil. Os tamanhos da amostra devem ser tais que a razão da área superficial com a área das quinas seja grande, sendo neste caso preferível amostras mais finas. Amostras pequenas permitem pesagens mais precisas e são apropriados para ensaios curtos. Amostras grandes são recomendadas para o estudo de tipos de corrosão mais definidos, como o caso da corrosão por picadas, que envolve factores de probabilidade.

2.4.1.2. Avaliação

Existem vários métodos de avaliar e expressar a corrosão, que podem ser qualitativos através dos seguintes métodos:

- Inspecção visual;
- Observação macroscópicas;

- Observações microscópicas.

Ou serem quantitativos através dos seguintes métodos:

- Método de variação de peso;
- Determinação da quantidade de oxigénio consumido;
- Determinação do oxigénio libertado;
- Análise da solução;
- Medida da profundidade das picadas de corrosão;
- Medida da espessura da amostra;
- Velocidade de corrosão / Taxa de corrosão.

2.4.1.2.1. Inspecção visual

Uma das intensões da maioria dos ensaios de corrosão é determinar a natureza do ataque, em termos de que extensão e partes de uma superfície foram afectadas pela corrosão ou não, e da uniformidade da corrosão, tornando as inspecções visuais valiosas para esse efeito. Esta prática envolve a observação de variações do aspecto externo da superfície da amostra, assim como verificações no meio corrosivo. As observações devem ser efectuadas antes e após a remoção dos produtos de corrosão da superfície da amostra.

2.4.1.2.2. Observações macroscópicas

As observações macroscópicas são uma extensão da inspecção visual, sendo nelas realizadas as inspecções com ampliações relativamente baixas (2 a 20 vezes. Este método oferece uma informação mais detalhada sobre a posição dos pontos de corrosão e a natureza dos produtos de corrosão. Exames macroscópicos durante o exame possibilitam a determinação dos primeiros pontos de corrosão e fissuras de corrosão.

2.4.1.2.3. Observações microscópicas

As observações microscópicas ópticas podem ser realizadas após e durante os ensaios de corrosão. É possível estudar as diferentes formas de corrosão localizada através de altas ampliações. Os resultados deste método de inspecção, assim como de outros métodos qualitativos, são geralmente registados sob a forma de fotografia.

2.4.1.2.4. Método de variação de peso

É muito comum utilizar este método para determinar a extensão ou progressão da corrosão, podendo tornar a forma de perda ou ganho de peso.

No método de perda de peso, a quantidade de material destruído pela corrosão é determinada, pesando o material após remover todos os produtos de corrosão sobre a superfície, subtraindo de seguida o produto de corrosão ao peso original da amostra. Os métodos utilizados para a remoção dos produtos de corrosão dependem das propriedades do metal e dos produtos de corrosão, e devem ser realizados de modo a não influenciarem a perda real de peso. Métodos mecânicos, químicos ou electroquímicos podem ser utilizados para remover os produtos de corrosão. É importante referir que este método de avaliação não pode ser utilizado se a corrosão for localizada.

O método de ganho de peso é mais utilizado em estudos da extensão ou velocidade de corrosão a elevadas temperaturas. Este método é também apropriado para estimar a corrosão aquosa, no caso dos produtos de corrosão serem praticamente insolúveis e aderirem à amostra. Também é possível efectuar ensaios de oxidação a altas temperaturas através de microbalanças, sendo possível determinar desta forma valores muitos precisos de ganho ou perda de peso.

2.4.1.2.5. Determinação da quantidade de oxigénio consumido

A determinação da quantidade de oxigénio consumido é útil para estudos teóricos de processos de corrosão, em que a reacção anódica é a redução de oxigénio. Este método é utilizado para seguir o progresso da corrosão aquosa ou as etapas iniciais de oxidação. O oxigénio consumido pode ser recalculado como metal corroído se a composição do produto de corrosão for conhecida. O consumo de oxigénio devido à corrosão aquosa é calculado analisando-se químicamente a solução quanto ao oxigénio, antes e após a corrosão.

2.4.1.2.6. Determinação do hidrogénio libertado

Em muitos casos, durante a corrosão, a quantidade de metal dissolvido é equivalente à quantidade de hidrogénio libertado, sendo então possível medir o volume de hidrogénio libertado, ao contrário da quantidade de metal dissolvido. Este método, para a determinação da extensão de corrosão, pode apenas ser utilizado em situação em que o processo catódico é a libertação de hidrogénio.

2.4.1.2.7. Análise da solução

A extensão da corrosão da solução aquosa também pode ser avaliada através da análise química da solução utilizada no ensaio, desde que não sejam formados produtos de corrosão

secundários que gerem precipitados insolúveis. É utilizado o polarógrafo para seguir os estágios iniciais de corrosão, através da medida de pequenas variações na composição da solução.

2.4.1.2.8. Medida da profundidade das picadas de corrosão

No caso de corrosão não uniforme, especialmente por picadas, a medida de variação do peso não é representativa, e nesse caso, a medida da profundidade da picada é geralmente realizada. Na corrosão por picadas, é útil obter informação sobre a frequência de ocorrência das picadas, distribuição e forma. Dependendo do número de picadas por unidade de área, do tamanho e profundidade da picada, a extensão da corrosão tem sido classificada através de números, variando de 1 a 7. Quando o número de picadas é elevado, são apresentadas a profundidade média das dez picadas mais profundas, assim como a profundidade da picada mais profunda. Existem diversas formas de medir a profundidade das picadas:

- Se as picadas forem suficientemente largas, a profundidade das mesmas pode ser medida com um micrómetro de ponta ou com uma agulha ligada a um calibre;

- Um microscópio óptico calibrado pode ser utilizado para determinar a profundidade das picadas, focando-as primeiro na região superior da picada e posteriormente no fundo da mesma;

- Se as picadas forem finas, a observação microscópica de uma secção transversal da amostra com picadas pode ser efectuada para determinar a profundidade das mesmas.

2.4.1.2.9. Medida da espessura da amostra

A medida e espessura da amostra antes e após a corrosão não tem significado no caso de a corrosão não ser uniforme. Quando a corrosão é uniforme, o método mais eficaz e preciso para avaliar a corrosão é o método de variação de peso. No entanto, dependendo das dimensões da amostra, caso sejam muito grandes ou quando se trata de componentes de máquinas e instalações, a medida de espessura da amostra continua a ser um método muito útil para a avaliação da corrosão. Neste método, a espessura média da amostra corroída é obtida através da medição da espessura em vários pontos. Esta espessura é frequentemente referida como penetração da corrosão e expressa em mm/ano, sendo geralmente utilizados micrómetros especiais com adaptadores de modo a permitir a medida da espessura longe dos bordos.

2.4.1.2.10. Avaliação das propriedades mecânicas

A extensão da corrosão pode também ser avaliada pela medição das propriedades mecânicas das amostras antes e após o ensaio de corrosão. As propriedades mais frequentemente avaliadas são:

- Ductilidade (alongamento após rotura);
- Resistência ao impacto.

Este método é particularmente útil em casos como corrosão intergranular e corrosão selectiva, onde métodos de perda de peso não são significativos.

Neste tipo de avaliação, também podem ser utilizados ensaios de encruamento. O número de ciclos que a amostra pode suportar, ou o ângulo no qual a amostra pode ser curvada após o ensaio de corrosão, é baseado no efeito de entalhe induzido por corrosão por picadas ou intergranular. Este método é utilizado para avaliar o grau de corrosão intergranular e o grau de fragilização por hidrogénio.

2.4.1.2.11. Medida de variação na resistência eléctrica

Variações na resistência eléctrica das amostras metálicas submetidas a testes de corrosão são causadas pela variação na espessura ou diâmetro real da amostra. Este método é indirecto e as variações na resistência eléctrica de uma amostra antes e após a corrosão podem ser convertidas para penetração da corrosão. Este método é frequentemente utilizado para determinar a tendência de metais finos sofrerem corrosão uniforme e intergranular.

2.4.1.2.12. Avaliação da composição química antes e após o ensaio

Pode ser entendido como um método de avaliação à corrosão, no entanto, é conveniente realizar outros tipos de ensaios posteriormente, de forma a obter resultados mais precisos.

2.4.1.2.13. Velocidade de corrosão / Taxa de corrosão

A velocidade de corrosão é um factor importante a ter em conta, tanto para efeitos de manutenção, como para iniciar um projecto. Essa velocidade é dada pela massa de material perdida, numa determinada área e num determinado tempo, representando então a massa perdida por unidade de área na unidade de tempo. A massa perdida pode ser calculada pela equação de Faraday (equação 17):

$$m = e \times i \times t \tag{17}$$

Onde:

- m = massa perdida, em g;
- e = equivalente electroquímico do metal (quantidade de substância depositada, quando existe a passagem de carga de 1 Coulomb pela solução)
- i = corrente de corrosão, em A;
- t = tempo em que se analisou o processo de corrosão, em s.

Como já verificamos, a corrente (A) dum processo de corrosão é um factor importante no estudo do mesmo, podendo variar, sendo a corrente de maior ou menor intensidade. A corrente depende principalmente de dois factores:

- DV - diferença de potencial das pilhas, sendo a diferenças de potencial entre a área catódica e anódica e pode ser manipulado pela resistência do electrólito, superfícies de contacto das áreas anteriormente referidas, polarização e passivação.
- R – resistência de contacto dos eléctrodos das pilhas, sendo a resistência de contacto entre a área catódica e anódica.

O controlo de velocidade de corrosão pode acontecer na área anódica, catódica ou ambas, podendo então afirmar que os processos de corrosão são controlados anodicamente, catodicamente ou por controlo misto. A velocidade de corrosão pode ainda ser alterada por factores como a geração do meio corrosivo, o pH do electrólito e a temperatura.

A velocidade de desgaste do metal na sua superfície pode ser expressa pela **"taxa de corrosão".** Esta taxa é muito importante para determinar a vida útil dos equipamentos, podendo ser de maior ou menos importância, causando mais ou menos riscos principalmente em instalações industriais. A taxa de corrosão pode ser expressa através de:

- Redução da espessura do material por unidade de tempo (mm/ano);
- Perda de massa por unidade de área e por unidade de tempo ((mg/dm^2/dia) mdd);
- Milésimos de polegadas por ano (mpy).

Quando o valor da perda de massa é conhecido, podemos calcular a taxa de corrosão em (mm/ano) e (mpy) através das equações 18 e 19:

$$\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{ano}} = \frac{3{,}65 \times \Delta m}{\mathrm{S} \times \mathrm{t} \times \rho} \tag{18}$$

Onde:

- mm/ano = perda de espessura do material, em mm/ano;
- Δm = perda de massa, em mg;
- S = área exposta, em cm^2;
- t = tempo, em dias;
- ρ = densidade do material, em g/cm^3.

E também:

$$\mathrm{mpy} = \frac{5{,}34 \times \Delta m}{\mathrm{S} \times \mathrm{t} \times \rho} \tag{19}$$

Onde:

- mpy = perda de espessura do material, em milésimos de polegada por ano;
- Δm = perda de massa, em mg;
- S = área exposta, em pol^2;
- t = tempo, em horas;
- ρ = Densidade do material, em g/cm^3.

Podemos ainda converter as taxas de corrosão “mm/ano” e “mpy” através das equações 20 e 21 [11]:

$$\mathrm{mdd} = \frac{mm/ano \times \rho}{0{,}0365} \tag{20}$$

$$\text{mdd} = \frac{mpy \times \rho}{1{,}44} \tag{21}$$

No entanto, importa referir que os valores de taxas de corrosão apenas podem ser utilizados em casos de corrosão uniforme, não se aplicando para casos de corrosão localizada como, por exemplo, corrosão intergranular e transgranular. Quando se trata de corrosão por picadas, isto é, restrita a áreas bem pequenas, em geral a perda de massa é insignificante e não possibilita uma noção suficiente da gravidade do processo, sendo igualmente impossível utilizar os cálculos de velocidade e taxas de corrosão como forma de avaliação [16].

2.4.1.3. Ensaios

Os ensaios em laboratório podem ser realizados sob condições variadas e por várias razões como foi referido anteriormente. A forma mais adequada para determinar a corrosão de um material continua no entanto a ser a exposição do próprio material ao meio de serviço. Visto que o ensaio em serviço é geralmente lento e dispendioso, é necessário simular e acelerar o ensaio. Neste caso, uma pequena amostra é avaliada em laboratório a fim de se poder obter informações sobre a taxa de corrosão de componentes maiores utilizados em serviço. De entre os diversos tipos de ensaios em laboratório existentes, podemos referir os seguintes:

- Imersão total;
- Imersão alternada;
- Corrosão electroquímica;
- Imersão contínua com agitação;
- Ensaios com fluxo contínuo;
- Ensaios com líquidos em ebulição;
- Ensaios com líquidos a temperaturas e pressões elevadas;
- Ensaios de corrosão conjugados com solicitações mecânicas;
- Ensaios de corrosão conjugados com pressões elevadas e altas velocidades de corrente;
- Cabine de humidade, podendo ser combinada com variações de temperaturas.

Podemos ainda referir especificações bem definidas para ensaios laboratoriais, através de normas ISO, DIN, AFNOR, ASTM, entre outras. Na tabela 3, serão mencionadas algumas normas ASTM retiradas do "Annual Book of ASTM Standards" [16].

Tabela 3 - Normas ASTM referentes a ensaios de corrosão

Norma	Designação
A 262	Susceptibilidade de aços inoxidáveis a ataque intergranular.
A 279	Ensaio de corrosão por imersão total para aços inoxidáveis.
B 117	Ensaio de névoa salina (*salt spray*) com exposição continua a solução de NaCl a 5%, pH=6,5 – 7,2 e temperatura de 35°C.
B 287	Ensaio de névoa salina acidulada com ácido acético e sal de cobre (*CASS Test*), pH = 3,1 – 3,3 e temperatura de 50°C.
D 807	Ensaio de tendência de água de caldeira a causar fragilização.
D 849	Corrosão de cobre por hidrocarbonetos aromáticos industriais.
D 930	Ensaio de corrosão por imersão total de produtos solúveis em água usados para limpeza de alumínio.
D 1654	Avaliação de corpos de prova, pintados ou revestidos, sujeitos a meios corrosivos.
D 1735	Ensaio de névoa húmida para revestimentos orgânicos.
D 1748	Protecção contra a corrosão por protectores de metais em cabine de humidade.
D 2251	Corrosão de metais por solventes orgânicos halogenados e suas misturas.
G 1	Preparação, limpeza e avaliação das amostras para ensaios de corrosão.
G 48	Resistência dos aços inoxidáveis à corrosão por picadas e por fendas (*crevice*) usando-se solução de cloreto ferrítico FeCl.
G 71	Ensaios de corrosão galvânica.
G 32	Ensaios de erosão-cavitação.
G 73	Ensaios de erosão-impingimento.
G 16	Avaliação de análise estática aos resultados dos ensaios de corrosão

Num sistema de abastecimento de água destinada ao consumo humano, desde a captação até à torneira do consumidor, a água entra em contacto com diversos materiais, nomeadamente tubagens, componentes e acessórios, revestimentos, selantes, reservatórios, contadores, torneiras, entre outros que podem ser constituídos por materiais diversos, destacando-se o aço, cobre, ferro, policloreto de vinilo (PVC), polietileno (PE), polipropileno (PP), betão e resinas epóxidas. Importa então ter conhecimento dos níveis de impurezas e substâncias

tóxicas que possam ser transferidas dos materiais para a água, de modo a garantir uma boa qualidade de água. Realizar ensaios ao meio que está em contacto com os materiais também permite avaliar a corrosão, como já foi referido anteriormente.

Portugal não dispõe de Normas relativas a produtos químicos consumidos em estações de tratamento de água, assim como sobre a influência de materiais que se encontrem em contacto com a água de consumo humano. Assim sendo, no contexto de normalização a nível Europeu, a Entidade Coordenadora do Sistema Nacional de Gestão e Qualidade (instituto Português de Qualidade), procede à adopção das Normas Europeias como Normas Portuguesas.

As actividades normativas respeitantes dos efeitos dos materiais em contacto com a água potável, são efectuadas no âmbito do seguinte grupo de trabalho da CEN/TC164:

- GT 3 – Efeito dos materiais em contacto com água potável.

Tabela 4 – Influência dos materiais em contacto com água potável

Norma GT 3		
Nome	Norma Europeia	Norma Portuguesa
Influência dos materiais na água destinada ao consumo humano. Parte 1: método de ensaio para materiais não metálicos e não-cementícios de fabrico industrial.	EN 12873-1 : 2003	NP EN 12873-1 :2008
Influência dos materiais na água destinada ao consumo humano. Parte 2: método de ensaio para materiais não metálicos e não-cementícios aplicados no local	EN 12873-2 : 2009	NP EN 12873-2 :2008
Influência dos materiais na água destinada ao consumo humano. Parte 2: método de ensaio para resinas adsorventes e troca iónica	EN 12873-3 : 2006	NP EN 12873-3 :2011
Influência dos materiais metálicos na água destinada ao consumo humano, sistema de ensaio dinâmico para avaliação da libertação de metais, parte 1: desenho da operação	EN 15664 – 1: 2008	-

Influência dos materiais em contacto com água potável (continuação)

Influência dos materiais metálicos na água destinada ao consumo humano, sistema de ensaio dinâmico para avaliação da libertação de metais, parte 2: águas de ensaio	EN 15664 – 2: 2010	-
Influência dos materiais metálicos na água destinada ao consumo humano, sistema de ensaio dinâmico para avaliação da libertação de metais, parte 3: linha de orientação para interpretação de dados	EN 15664 – 3: 2009	-
Influência dos materiais metálicos na água destinada ao consumo humano – método de avaliação do comportamento passivo de aços inoxidáveis	EN 16056 : 2010	-
Influência dos materiais metálicos na água destinada ao consumo humano – sistema de ensaio dinâmico para avaliação de revestimentos de superfície com camadas em níquel – método de ensaio de longa duração	EN 16058 : 2010	-

2.5. Selecção de materiais: breve introdução

Tendo em conta a evolução que tem ocorrido com o passar dos anos, a selecção de materiais tem sido uma etapa indispensável durante a elaboração de novos projectos e fabricação de novos produtos, assim como muitas vezes para o melhoramento de instalações mais antigas, onde os critérios de selecção não foram devidamente estudados, sendo então alvo de estudos de entidades públicas e privadas, devido principalmente à sua enorme importância económica.

Estima-se que hoje em dia haja cerca de 80.000 tipos de materiais no mundo, incluindo diversos tipos de ligas metálicas e não-metálicas. A partir desta enorme diversidade de materiais disponíveis, o processo de selecção de materiais é desenvolvido pelas empresas mediante as necessidades específicas de cada projecto, com o objectivo de assegurar a qualidade, funcionalidade, desempenho e a redução de custos em todas as etapas do projecto. O processo de desenvolvimento de produtos pode ser abordado como sendo actividades, etapas e decisões que envolvem o projecto de desenvolvimento de novos produtos ou

serviços, ou na melhoria de algum já existente, desde a ideia inicial até à construção final dos mesmos. Durante o estudo desenvolvido, é necessário seleccionar um material apropriado face a diversos requisitos do projecto e propriedades dos materiais [23].

Contudo, a escolha do material pode ser desapropriada, podendo originar graves consequências tanto para a empresa fornecedora como para a empresa receptora, indo da falha do produto até um enorme aumento de custos. A selecção de materiais envolve uma grande diversidade de factores, tais como [23]:

- Requisitos funcionais do projecto;
- Propriedades dos materiais que especificam esses requisitos;
- Custo;
- Processos de fabrico.

2.5.1. Metodologias de abordagem à Selecção de Materiais

Para iniciar um novo projecto, o estudo de um novo processo ou mesmo a melhoria de algum projecto já existente, é necessário seleccionar materiais de forma a conseguir estabelecer uma relação de processamento, estrutura, propriedades, desempenho e que atendem as exigências do consumidor final, sendo essa selecção geralmente uma tarefa difícil. Para elaborar essa selecção, é necessário entrar em campos específicos, como conhecer a estrutura química do material, o seu arranjo atómico, factor de empilhamento atómico, propriedades físicas, propriedades mecânicas entre outras, tendo sempre em conta a função a ser desempenhada pelo produto final.

Para *Ashby [23],* a selecção de materiais envolve a análise do projecto do produto, entre outros itens. Esta análise é realizada considerando quatro factores principais:

- Material;
- Função;
- Processo;
- Forma.

Ao desenvolver o projecto, o projectista analisa os materiais necessários para a construção do produto, relacionando a forma e a função apresentada pelo produto final, direccionando também o processo de fabrico para atender a essas necessidades.

Nos anos 80, *Dieter Assunção* [23], desenvolveu um modelo de estudo na área dos materiais que iria servir de base para posteriores estudos, utilizados em diversas empresas e centros de pesquisa, organizando o processo de selecção de um material em três etapas:

- Análise dos requisitos funcionais para os materiais;
- Eliminação de materiais;
- Processos e materiais candidatos.

Segundo *Callister*, para além dos critérios já mencionados, existem outros factores importantes a ter em conta no desenvolvimento de novos produtos, de forma a maximizar a hipótese do produto tornar-se comercializável, sendo alguns desses critérios de natureza económica, tornando-se relevantes para a competitividade do produto, apesar de não estarem relacionados com princípios científicos ou a práticas de engenharia. Para *Callister*, a selecção de materiais envolve as seguintes etapas:

- Projecto do componente;
- Análise de materiais;
- Processo de fabrico.

Analisando estes critérios, podemos verificar que o modelo apresentado por *Callister* é um desenvolvimento dos critérios de selecção de *Dieter*, tendo como principal diferença a abordagem e as ferramentas utilizadas de forma a se atingir um número de materiais possíveis.

Em função de todos estes factores, é importante analisar o modelo proposto por *Ashby*, no qual foi sistematizado e agrupado num banco de dados as propriedades dos materiais e diversos estudos realizados, permitindo assim aos profissionais da área a visualização do equilíbrio entre os seguintes factores:

- Necessidades de mercado;
- Possibilidades dos processos de fabrico;

- Propriedades dos materiais.

A aplicação deste modelo é realizado em duas etapas:

- Etapa de eliminação;
- Etapa de informações complementares.

Os resultados da primeira etapa acima mencionada são apresentados sob uma forma gráfica, designados por mapas das propriedades dos materiais (fig. 49).

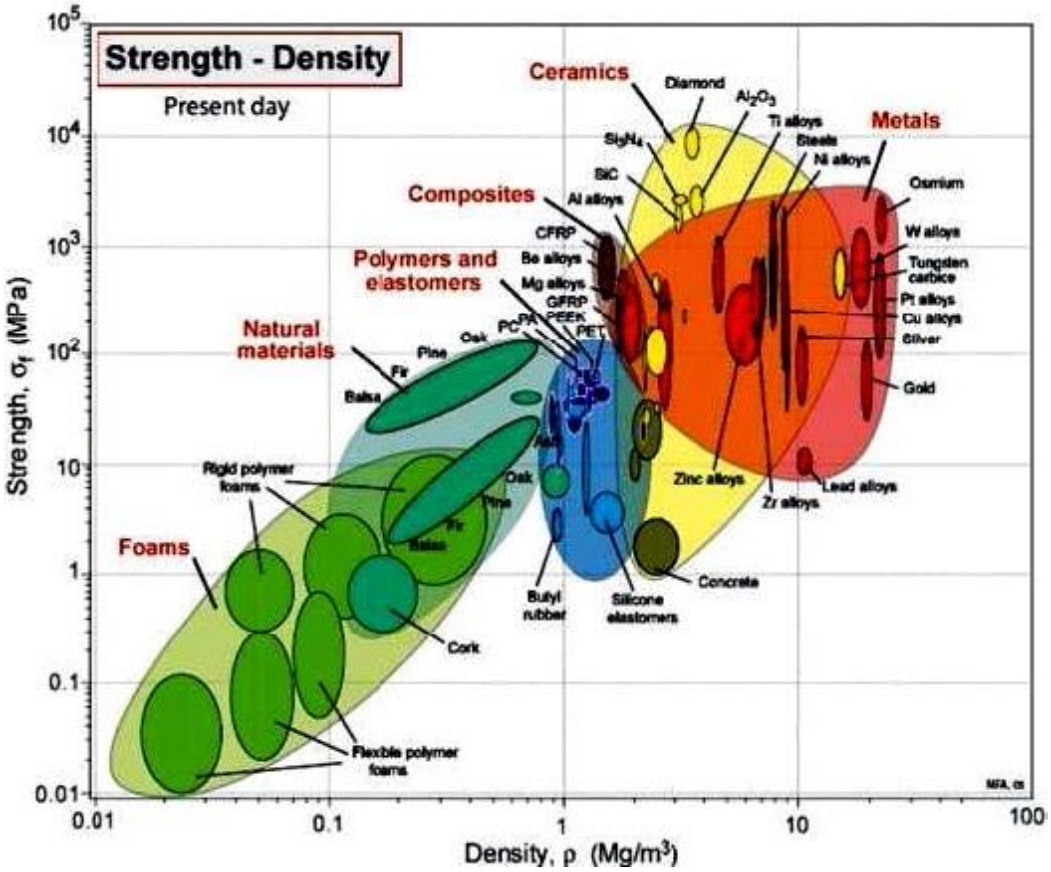


Figura 49 – aspecto de um diagrama de Ashby, neste caso correlacionando a densidade dos materiais com a sua tensão de cedência

Estes mapas representam uma das grandes contribuições do modelo de Ashby para as pesquisas de selecção de materiais, visto que relacionam diversos materiais quanto as suas propriedades especificas, sendo valorizadas para o processo de selecção e posteriormente para as características finais do produto.

Na segunda etapa, são principalmente avaliados temas referentes a custos, disponibilidade, fornecedores, funcionalidade, entre outras [23].

Em certas situações, não se trata de realizar um projecto de um novo produto, mas apenas melhorar um serviço já instalado ou um produto já produzido há algum tempo. Nestes casos, vários factores podem ser desprezados, tendo principalmente em conta parâmetros como:

- Requisitos da instalação ou do produto;
- Relacionar as propriedades necessárias para os requisitos seleccionados;
- Avaliar o peso de cada requisito;
- Exclusão de famílias de materiais;
- Triagem de materiais para selecção final;
- Classificação de cada material em função da aptidão para cada propriedade.

2.6. Análise Custo-Benefício

Quando se pretende avaliar uma determinada decisão ou projecto de um agente económico, particular, de uma empresa ou do estado, utiliza-se frequentemente a denominada "análise custo-benefício". Esta análise consiste principalmente em valorizar monetariamente todos os efeitos previsíveis da decisão ou do projecto em causa, para o conjunto de períodos levados em conta na análise, não incluindo apenas os factores comerciais, mas sim também os não-comerciais. Ao mesmo tempo, a avaliação deve englobar todos os grupos potencialmente influenciados pela decisão ou projecto em causa, e não apenas a entidade que esta encarregue da mesma.

Deste modo, este tipo de análise define:

- Para cada grupo potencialmente afectado, aqueles que estão associados à decisão;
- Todos os efeitos valorizados em termos monetários, representando os efeitos positivos, os benefícios e os efeitos negativos dos custos;
- Para cada grupo é elaborado o balanço comparativo dos custos e benefícios em cada período;

- Elaboração do balanço global para todos os períodos, o qual corresponde á soma actualizada dos balanços periódicos;

- Realização da conjugação dos balanços globais de todos os grupos.

Após a realização de todo este trabalho, é possível acertar o balanço para toda a comunidade e para todos os períodos que, no âmbito desta análise, irá permitir a tomada de decisão, que poderá ser uma das seguintes:

- Se os benefícios totais ultrapassarem os custos, deve-se avançar com a decisão;

- Se os benefícios totais não atingirem os custos, a decisão não deve ser tomada.

A análise "custo-benefício" pode ser utilizada em diversas situações, sendo as mais comuns a avaliação por parte de um particular ou de uma empresa, da viabilidade de um projecto de investimento privado e da avaliação por parte de uma entidade do estado, para efeitos de um projecto público como a construção de estradas, por exemplo.

A soma simples dos balanços de cada grupo assume um princípio de compensação, ou seja, um princípio no qual é possível eliminar as diferenças entre eles em termos de efeitos através de transferências monetárias, sendo nulo o custo dessas transferências.

A grande dificuldade e limitação da análise "custo-benefício" encontra-se na tradução em termos monetários de todos os efeitos associados a uma decisão, na medida em que muitos deles, particularmente quando estão em causa projectos públicos, são de impossível ou muito difícil medição. Ao mesmo tempo, existem efeitos colectivos que são divisíveis, principalmente no caso dos serviços públicos, sendo nestes casos necessário adoptar pressupostos mais ou menos fortes [24].

3. Desenvolvimento

3.1. Objectivos do trabalho

A água é uma substância que pode ser muito facilmente contaminada, podendo originar graves consequências para a saúde humana dependendo dos contaminantes nela presentes. Os micro-organismos existentes na água podem afectar de diversas formas a sua qualidade e o funcionamento das instalações, por os seus produtos metabólicos ou pela formação de depósitos que, com o decorrer do tempo pode causar problemas de corrosão, entre outros. Pela sua eficacidade, é utilizado cloro para o tratamento da água em instalações como estações de tratamento de água e piscinas, actuando sobre os micro-organismos. O cloro pode ser utilizado, tanto em forma de gás (Cl_2), como em forma liquida, através da adição de hipoclorito de sódio (NaClO).

Apesar do cloro ser um óptimo elemento para tratamento de água contra micro-organismos, este apresenta algumas desvantagens, como por exemplo, o facto de gerar subprodutos que podem diminuir a sua eficiência no combate aos mesmos, podendo posteriormente vir a ser tóxicos. Além disso, o cloro é um composto oxidante que tende a promover processos corrosivos em materiais que se encontram em contacto com a água [25, 26].

Entre outros, este facto levou a um elevado nível de exigência de controlo e gestão da qualidade da água para consumo humano, quando a comparamos com outras áreas de saúde e ambiente. Actualmente, procura-se identificar problemas relacionado com possíveis pontos críticos dos sistemas, através de acções preventivas, avaliando-os a tempo de se tomarem medidas. Desta forma, temos que ter em especial atenção os materiais que se encontram em contacto com a água, sendo eles uma potencial origem de contaminações que importa controlar, podendo ser toxicas ou não. A corrosão dos materiais pode ainda originar danos físicos em instalações, provocando custo que muitas vezes podem ser evitados.

Nesta tese, pretende-se determinar as origens e os tipos de corrosão presentes em vários materiais que contactam com cloro nas instalações estudadas, analisando de seguida a alteração que o material sofreu e a possível causa.

Pretende-se também distinguir certos materiais que são inapropriados em contacto com água para consumo humano, devido ao elevado perigo que podem apresentar, de muitos outros que apenas tem um risco considerável se forem usados correctamente.

Será ainda avaliada a degradação de diversos materiais, em diferentes concentrações de cloro durante um determinado período de tempo, realizando posteriormente uma selecção de materiais atendendo a certos requisitos, de modo a garantir uma maior durabilidade sem comprometer a qualidade da água. Neste ensaio, serão principalmente pesquisadas explicações através de um processo de corrosão acelerada, no qual o tempo de ensaio será relativamente curto, podendo não ser tão pormenorizado e preciso como se ocorresse num caso real, no entanto, este estuda terá uma correspondência muito próxima.

O objectivo deste estudo passa igualmente por analisar os materiais e verificar o seu comportamento, sem nenhum tratamento específico após estarem em contacto com cloro, mantendo uma forma de tratamento semelhante aos materiais utilizados no dia-a-dia.

Este estudo irá permitir alterar certos materiais instalados na estação de tratamento de água (E.T.A.) de Vale de Cambra e nas piscinas municipais de Vale de Cambra, evitando desta forma custos e perigos desnecessários.

3.2. Caracterização das instalações

3.2.1. E.T.A. de Padrastos (Vale de Cambra)

A B

Figura 50 - E.T.A. de Padrastos: edifício (A) e decantadores (B)

A E.T.A. de padrastos é constituída por 3 pisos:

- Piso -1;
- Piso R/C;
- Piso 1.

No piso -1, constituído por um sector, encontram-se os seguintes equipamentos, destinados principalmente ao abastecimento de água interna, interna e rede municipal, assim como à lavagem dos filtros (fig. 51):

A

B

C

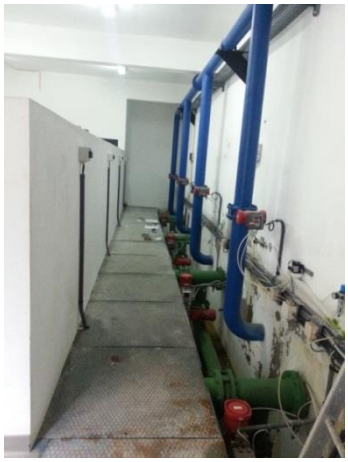
D

Figura 51 - Equipamentos localizados no piso -1: Bomba de elevação para o reservatório de distribuição (A), Centrais hidropneumáticas para cloragem e água de serviço da E.T.A. (B), Bomba de água de lavagem dos filtros (C) e compressor de ar de lavagem dos filtros (D) e Compressor de ar de serviço €

No piso R/C, a E.T.A. de Padrastos destina-se principalmente à sua gestão de funcionamento, e ao sistema de tratamento da água, sendo repartida da seguinte forma:

- Tratamento de pH, floculação e impurezas (fig. 52);
- Sala de controlo da E.T.A (fig. 53);
- Oficina (fig. 54);
- Tratamento de cloro (fig. 55).

A



B

C

Figura 52 – Imagens relativas ao tratamento de pH, floculação e impurezas: Válvulas pneumáticas de lavagem e descarga dos filtros e posicionadores pneumáticos para manter os níveis de água nos filtros (A), Bombas doseadoras de leite de cal e sulfato de alumínio (B) e Os tanques de leite de cal e sulfato de alumínio (C)

A B

C

Figura 53 - Sala de controlo (A), aparelhos de amostragem (B) e quadro eléctrico (C) que garantem o funcionamento da E.T.A. e a qualidade da água

Figura 54 - Oficina de manutenção

A B C

Figura 55 – Tratamento de cloro: Armazenamento do cloro em gás (A), Sistema de doseamento de cloro (B) e reservatórios de cloro em gás (C)

No piso 1, repartido em 3 sectores (arrumos, sala de análises e sala de gestão da E.T.A.), nos quais se encontram os seguintes equipamentos (fig. 56):

A B

Figura 56 – Equipamento instalado na sala de controlo e gestão da E.T.A. (A) e analisador de cloro colocado na sala de análise da E.T.A. (B)

A ETA de Padrastos (Vale de Cambra) foi projectada para tratar uma água “agressiva, turva, com ferro e matéria orgânica”, através das seguintes etapas (fig. 57):

- Pré-cloragem;
- Coagulação química;

- Decantação;
- Filtração rápida;
- Correcção de pH;
- Cloragem final.

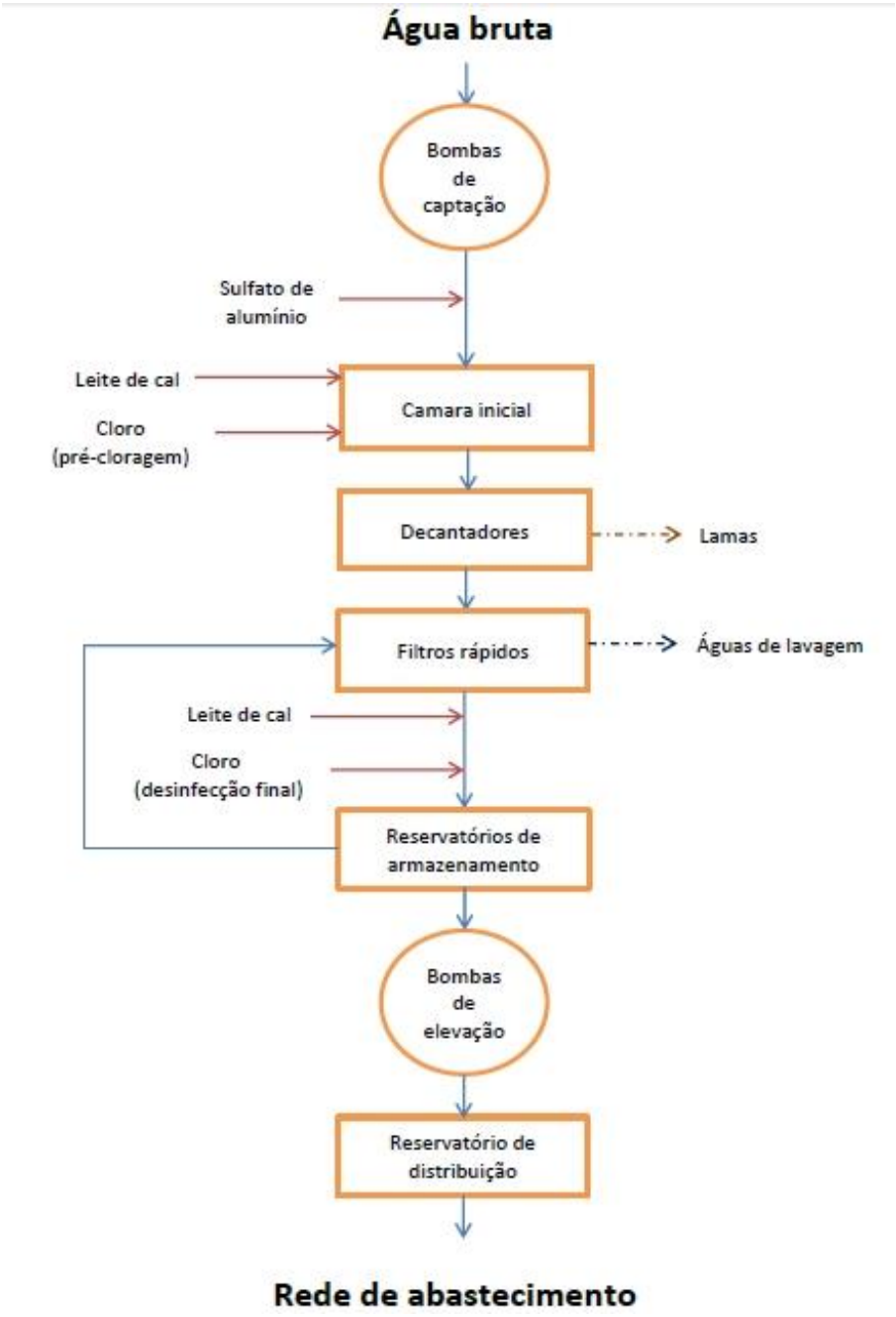


Figura 57 - Esquema de funcionamento da ETA

3.2.1.1. Captação

A água bruta é captada no rio Caima, mais especificamente na albufeira de um pequeno açude, nas proximidades do lugar de Padrastos, a jusante da barragem Duarte Pacheco (fig. 58).

Trata-se de uma captação feita no sub-leito do rio, mediante a instalação de drenos subterrâneos, situados aproximadamente a 7 metros de profundidade. Neste ponto, a água passa por "filtros", que tem por finalidade impedir que os resíduos sólidos de dimensões consideráveis entrem nos poços, o que poderia danificar seriamente as bombas que elevam a água, alem de poderem também condicionar o fluxo normal nas condutas.

A E.T.A. funciona com um caudal variável, dependendo da cota da água no açude, assim como da cota nos reservatórios de água tratada. A elevação das bombas de captação para os decantadores faz-se por meio de dois grupos electrobomba submersíveis, instalados no poço e comandados á distancia, a partir de gestão centralizada existente na E.T.A.

Figura 58 - Poço de captação de água

3.2.1.2. Pré-oxidação

Esta etapa consiste na oxidação de matéria orgânica, compostos orgânicos azotados, ferro e manganês, eventualmente presentes, de modo a evitar a propagação de algas nos decantadores e nos filtros, a melhorar as condições da coagulação química e a manter um valor residual de cloro livre ao longo de toda a instalação. A pré-oxidação é realizada à entrada da água na E.T.A (fig. 59).

O pré-oxidante utilizado é o cloro gasoso, doseado na câmara de mistura rápida sob a forma de água clorada. Nesta pré-oxidação, recomenda-se uma dosagem de 2 a 3 ppm.

Figura 59 - Entrada da água na ETA

3.2.1.3. Coagulação química

A coagulação consiste na formação de partículas de tamanho discreto a partir de uma neutralização de cargas em solução, permitindo a agregação do material coloidal que, ao aumentar o peso, sedimenta com relativa facilidade. Os coagulantes mais utilizados são:

- Sulfato de alumínio;
- Cloreto ferrítico;
- Sulfato ferroso;
- Sulfato ferrítico.

Na E.T.A. de Padrastos, o coagulante inorgânico utilizado é o Locron S®, à base de sulfato de alumínio. A eliminação das partículas coloidais ocorre, por um lado, através da diminuição da dupla camada eléctrica, devido ao incremento da força iónica do meio envolvente, ocorrendo daí o facto de os iões trivalentes, como o Al^{3+}, serem muito eficazes. Por outro lado, a diminuição da dupla camada eléctrica possibilita a adsorção do Al^{3+} na superfície dos colóides, neutralizando a sua carga (processo de coagulação por adsorção/neutralização).

Para além disso, os sais de alumínio ao hidrolisarem-se podem, se houver suficiente alcalinidade, dar origem ao hidróxido de alumínio insolúvel, o qual é responsável por outro

mecanismo de coagulação, denominado “sweep coagulation”. Neste caso, a coagulação dá-se por arrastamento dos colóides pelo hidróxido insolúvel, ocorrendo a seguinte reacção (equação 22):

$$Al(SO_4)_3.14H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3Ca(SO_4) + 14H_2O + 6CO_2 \qquad (22)$$

O principal mecanismo de coagulação interveniente depende significativamente da concentração inicial de colóides na água. Quando a turvação da água bruta é baixa (situação mais frequente na E.T.A. de Padrastos), predomina a coagulação por “sweep coagulation”, o que implica a utilização de maiores dosagens de coagulante. Quando a água bruta apresenta teores elevados de turvação, predomina a coagulação por adsorção/neutralização, logo as dosagens de coagulante são normalmente mais baixas.

Na E.T.A. de Padrastos, utiliza-se uma suspensão aquosa de cal como auxiliar da coagulação, de forma a se poder controlar o pH. O intervalo óptimo de pH, para a formação do floco de hidróxido de alumínio, vai de 5 a 7, uma vez que nesta gama o floco é insolúvel. Apos a formação dos núcleos de coagulação, segue-se uma etapa de mistura lenta, necessária para promover o crescimento dos flocos denominada por “etapa de floculação”.

3.2.1.4. Decantação

Nesta etapa, os flocos formados na “etapa de floculação” referida anteriormente, devem sedimentar em condições óptimas para o devido efeito. Essa etapa decorre em decantadores estáticos do tipo fluxo vertical (ascendentes), com manto de lamas de altura fixa, nas quais, a mistura lenta e a sedimentação estão concentradas numa única unidade (fig. 60).

Na E.T.A. de Padrastos, existem 3 decantadores, cuja capacidade unitária é de aproximadamente 190 m3. Este volume foi estabelecido com base num tempo de retenção de 2H e para velocidade ascensional de 2m/h.

A

B

C

Figura 60 - Decantadores (A), canal de descarga das lamas com água limpa (B) e com lama (C)

3.2.1.5. Filtragem

A filtragem é o método de separação sólido/líquido mais utilizado na separação de partículas em suspensão na água. O processo de filtragem mais eficiente para este tipo de tratamento, é

a filtragem rápida por areia, na qual a água passa através de uma camada filtrante, verificando-se a deposição dos sólidos em suspensão.

Atingindo um valor pré-definido de colmatação, inicia-se a regeneração do filtro através de uma lavagem em contra corrente, com ar e água. Após este processo, o filtro estará novamente em condições de funcionamento. A lavagem de cada filtro é executada através de água tratada existente num reservatório anexo a E.T.A. As águas de lavagem são recolhidas para o esgoto, através de um canal localizado por baixo do canal de distribuição de água a filtrar (fig. 61).

A B C

Figura 61 – Filtro em modo de filtragem (A), lavagem do filtro (B) e descarga de água suja dos filtros após lavagem (C)

A E.T.A. de Padrastos é constituída por quatro filtros, compostos por areia de sílica calibrada (0,8 a 1,2 mm), sendo a altura da camada de areia de cerca de 0,85 m, com um volume por filtro de 6,85 m^3. A areia é suportada por um fundo falso, equipado com distribuidores de água, conforme se pode observar na figura 62.

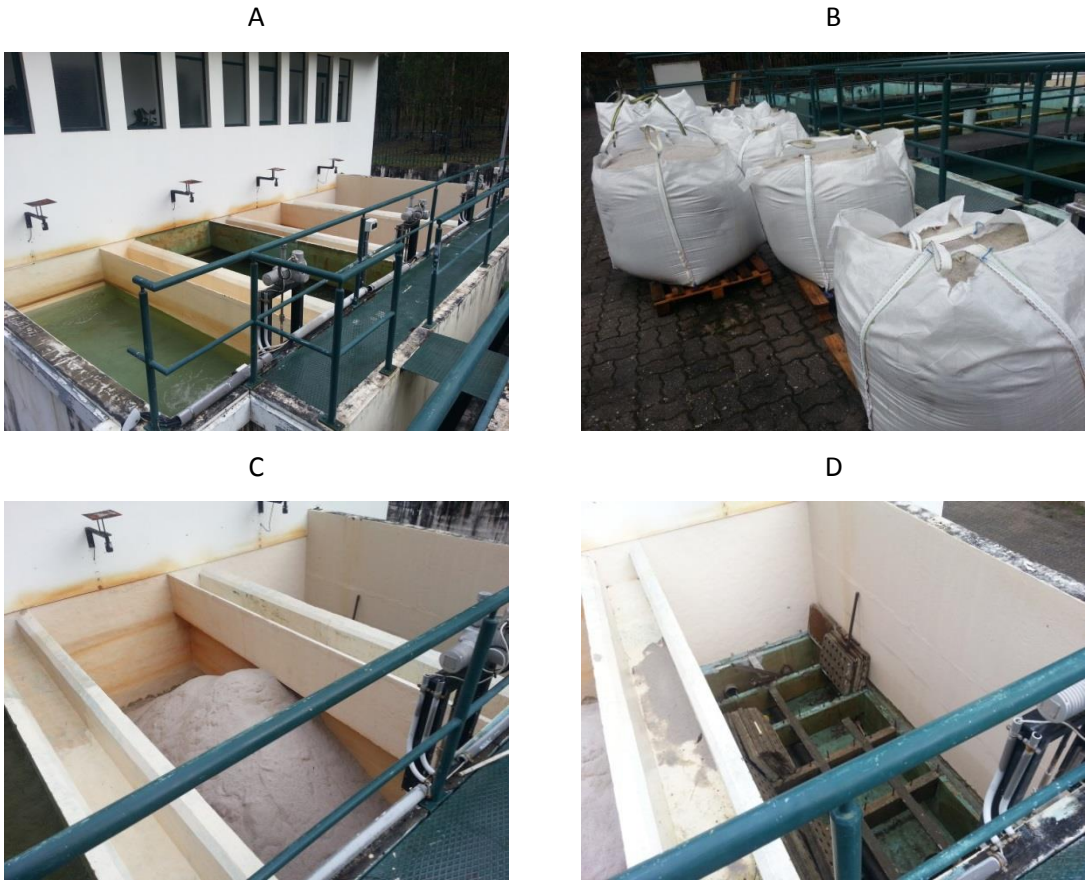


Figura 62 – Filtros (A), sacos de 1000 Kg de areia de sílica para filtros (B), areia de sílica no interior dentro do filtro (C) e fundo falso do filtro (D)

Estão instalados quatro filtros de areia à saída dos decantadores, para que, em situação normal de funcionamento, estejam dois filtros em serviço e dois em reserva. No piso -1 da ETA estão instalados dois grupos electrobomba horizontais, para a lavagem da areia dos filtros e dois compressores de baixa pressão para a insuflação de ar nos filtros, que funcionam em automático e em manual.

3.2.1.6. Desinfecção final

A adição de cloro na água filtrada é efectuada por clorómetros, e tem como objectivo garantir um teor adequado de cloro livre, que minimize os riscos de contaminação da água ao longo de toda a rede de distribuição. O doseamento é controlado por um analisador de cloro que mede, em contínuo, a concentração de cloro residual no reservatório de água tratada.

3.2.1.7. Correcção final do pH

Caso o pH da água tratada esteja abaixo do intervalo definido na legislação aplicável, isto é, entre 6,5 e 9,0, é adicionado leite de cal, de forma a corrigir o pH para o intervalo desejado.

Figura 63 - Instrumentação de controlo do Cl e pH

3.2.1.8. Armazenamento

A água filtrada é finalmente recolhida em dois reservatórios de água tratada (R1 e R2), situados na própria E.T.A (fig. 64).

Figura 64 - Local dos reservatórios R1 e R2

A partir desses reservatórios internos (R1 e R2), a água é elevada para um reservatório de distribuição (R9), situado no lugar de Câncelo (fig. 65), e daí para outros a fim de abastecer a população.

Figura 65 - Reservatório R9

3.2.2. Piscinas

A B C

Figura 66 – Piscinas Municipais de Vale de Cambra interiores (A e B), e exteriores (C)

Numa fase de projecto, é necessário ter certos pressupostos em consideração, bem como as condições técnicas, económicas e funcionais. Tendo em conta esses factos, a piscina municipal de Vale de Cambra foi projectada de forma a ser constituída por (fig. 67):

- Dois Tanques de natação (competição/aprendizagem);

- Zona de ligação a piscina olímpica (piscina exterior);
- Entrada;
- Átrio;
- Secretaria;
- Depósito de roupa;
- Vestuários (masculinos/femininos);
- Sala de monitores;
- Sala de aulas;
- Duche de passagem;
- Posto medico;
- Arrecadação de material desportivo;
- Bar/cafetaria;
- Instalações técnicas;
- Gabinetes de apoio;
- Entrada para espectadores;
- Acesso a galeria;
- Lava-pés.

A

B

C

D E F

Figura 67 - Locais interiores das piscinas municipais: secretaria (A), chuveiros de passagem e lava-pés (B), posto médico (C), instalações técnicas (D e E) e vestuários (F)

Uma piscina é uma estrutura criada e equipada para ser utilizada na prática de natação, assim como outras actividades desportivas, recreativas e culturais. Salvaguardando o conforto ambiental e a qualidade da água, as suas actividades deverão cobrir diversas necessidades, sendo elas:

- Educativas;
- Recreativas;
- Sociais;
- Saúde.

Podemos encontrar diversos tipos de piscinas, sendo elas cobertas, descobertas e mistas. O sentido de escolha deverá ser realizado mediante a sua funcionalidade, uso pretendido, assim como a sua rentabilidade social e económica. Podemos afirmar que as actividades para o qual foram construídas as infra-estruturas está dependente das condições em que se encontram as instalações, sendo de elevada importância efectuar um bom estudo logo no momento em que elas são concebidas, continuando no modo como são construídas, nos materiais seleccionados, na sua localização e escolha de vários aparelhos e maquinas, terminando no espaço disponível para a movimentação das pessoas.

Numa piscina privada, é da liberdade de cada um tomar as suas decisões. Em piscinas publicas já não podemos dizer o mesmo visto que esta em causa a saúde publica. Devido a esse facto, são exigidas garantias de qualidade no serviço que uma dada entidade presta á comunidade. Em 1993, o Concelho Nacional da Qualidade publicou a Norma CNQ 23/93, com o titulo “A qualidade das piscinas de uso publico”, onde se apresentam algumas disposições tendentes a melhorar as condições de higiene sanitárias, de segurança, de implantação e localização, do tratamento de água e das disposições técnicas e funcionais das piscinas e dos

estabelecimentos dedicados a actividades recreativas aquáticas correlacionadas, de uso publico. Nos próximos capítulos, será descrito o modo de funcionamento do sistema de armazenamento, mistura e movimentação de fluídos das piscinas municipais de Vale de Cambra, que foram baseados nos princípios definidos na citada norma.

As piscinas municipais de Vale de Cambra foram projectadas de forma a proporcionar o maior conforto aos seus utentes, no que diz respeito à qualidade da água. Para isso, a água deverá circular por locais abaixo referidos, que proporcionarão desinfecção e aquecimento, assim como outros locais que garantirão sempre a presença de água no seu interior (fig. 68):

- Piscina;
- Tanque de compensação;
- Coagulação;
- Bombagem (recirculação de água);
- Filtragem;
- Correcção de pH e desinfecção de cloro;
- Aquecimento da água;
- Piscina.

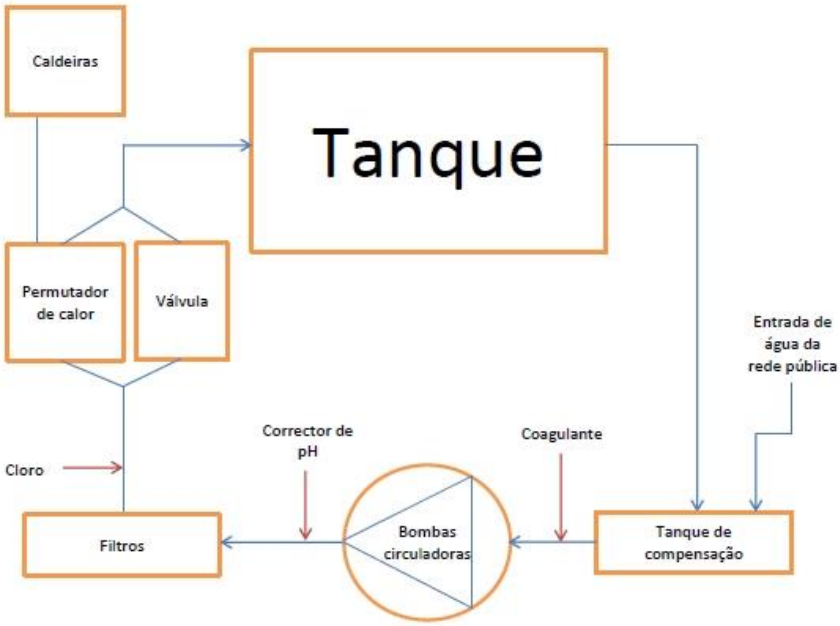


Figura 68 - Esquema de funcionamento das piscinas municipais de Vale de Cambra

3.2.2.1. Tanque de compensação

O tanque de compensação recolhe a água de transbordo do tanque de natação. É ainda neste tanque que dever ser efectuada a alimentação da água de compensação. Este tanque está instalado no interior do recinto, entre os dois tanques de natação, num local limpo e a um nível inferior ao plano de água do tanque de natação, isolado da luz solar (fig. 69). Este tanque foi dimensionado de modo a conseguir recolher o volume de água deslocado pelos banhistas, e para armazenar um volume de água suficiente para a lavagem dos filtros.

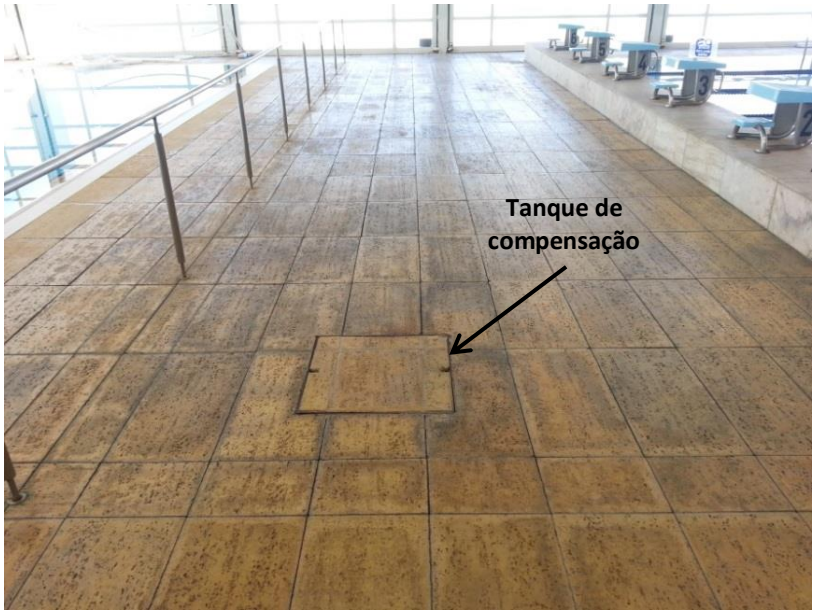


Figura 69 - Tanque de compensação no interior da piscina

Chama-se água de compensação, à reposição de água necessária para compensar as seguintes perdas:

- Perdas de evaporação e por banhistas;
- Lavagem dos filtros;
- Por purga para garantir uma renovação mínima.

O caudal de renovação pode ainda, ser regulado pelo controlo químico da água da piscina. O uso de reagentes no tratamento de água faz com que a concentração em algumas espécies

aumente relativamente à sua concentração na água original. O mesmo efeito sucede à evaporação contínua da água. Por exemplo, o uso de compostos de cloro em desinfecção provoca um aumento na concentração de cloretos. A água de compensação pode ter origem na rede de abastecimento público de água potável ou de origem autorizada pelo organismo de tutela da saúde pública e pela direcção regional do ambiente da respectiva área.

3.2.2.2. Coagulação

A limpeza do fundo da piscina tem sido um recurso importante à falta de capacidade de recirculação/filtração de muitas piscinas. Esta técnica consiste na clarificação da água da piscina por meio de coagulação/floculação, e remoção de lamas depositadas no fundo do tanque de natação.

Os floculantes mais utilizados no tratamento de águas de piscinas são compostos à base de:

- Sais de alumínio;
- Sulfato de alumínio;
- Aluminato de sódio;
- Policloreto de alumínio.

A coagulação torna-se um processo lento, sendo necessário um intervalo de tempo adequado para que os colóides destabilizem, que formem flocos, e que estes se depositem após ter sido adicionado o coagulante.

A limpeza do fundo da piscina é realizada através de um aspirador clássico manipulado pelo próprio operador. Existe também um aspirador automático que dispensa muita mão-de-obra, podendo trabalhar durante a noite, não havendo qualquer utente nas piscinas. A água recolhida na piscina é enviada para o esgoto ou para os filtros. Embora havendo perdas de água, a primeira solução é mais indicada, visto que possibilita a renovação da água da piscina (fig. 70).

Figura 70 – Aspiração manual do fundo da piscina

No caso da água recolhida ser enviado para os filtros, após alguns ciclos, o aumento da massa de partículas poluentes retidas provoca a crescente obturação dos interstícios do leito filtrante (colmatagem), e o consequente aumento da perda de carga - que indica a perda de eficácia do filtro -, a que se deve seguir a sua lavagem, por inversão do circuito de passagem (contra lavagem) [3].

3.2.2.3. Recirculação de água

Para assegurar a circulação da água, impulsionando-a para vencer a resistência à passagem pelos filtros e pela rede de condutas do sistema recirculação e de distribuição, é necessário dispor de bombas hidráulicas ou, mais propriamente, de grupos electrobombas, que aspiram a água do tanque de compensação, fazendo-a escoar no sentido do seu retorno à piscina, já tratada e desinfectada (eventualmente reaquecida).

As bombas, além da recirculação, têm que assegurar a lavagem dos filtros em contracorrente e o esvaziamento da piscina (e eventualmente do tanque de compensação), pelo que podem trabalhar em diversos regimes, sem contar com a variação da perda de carga a que estão sujeitas ao longo de cada ciclo.

Em tempos passados, o caudal de água a recircular era calculado com base na área do tanque de natação. Contudo, verificou-se que as piscinas de menos profundidade são mais frequentadas, e por consequência, as mais sujeitas a contaminações e com maior necessidade de tratamento. Para evitar estes inconvenientes, o estudo das piscinas de Vale de Cambra baseou-se na norma CNQ 23/93, sugerindo que as instalações de recirculação e tratamento de

água devem ser dimensionadas para fornecer, a todo o momento e a cada tanque que alimentem, um caudal de água filtrada e desinfectada, "cujo valor mínimo", Q_m a assegurar pela instalação é dada pela equação 23:

$$Q_m = \frac{V}{R \times h} = \frac{S}{R} \tag{23}$$

Em que "V" é o volume do tanque, "h" a sua profundidade média. "S" a área do plano de água e "R" o factor de recirculação dependente das condições de ocupação e da eficiência do tratamento da água. Este factor pode ser determinado pela equação 24:

$$R = k \times \phi \tag{24}$$

Tendo em conta que as perdas de água nos filtros vão aumentando á medida que estes se vão sujando, aumenta-se o caudal de água a tratar com os filtros lavados, "Q", de modo a que seja cerca de 30% superior ao valor mínimo determinado para "Q_m", ou seja (equação 25):

$$Q = 1{,}3 \times Q_m \tag{25}$$

Nas piscinas municipais de Vale de Cambra, As bombas utilizadas no tratamento de água de piscinas - com excepção das bombas doseadoras de reagentes químicos, geralmente de membranas - são de tipo centrífugo (ou radial), e accionadas por cinco motores eléctricos acoplados à saída dos filtros, transmitindo-lhes a velocidade de rotação. Estas bombas poderão estar todas ligadas ou apenas algumas, dependendo da necessidade. As piscinas exteriores contam treze motores eléctricos, visto ser necessário um caudal superior devido ao volume dos tanques de natação[3] .

A B

Figura 71 - Bombas de circulação de água do tanque de competição (A) e do tanque de aprendizagem (B)

3.2.2.4. Correcção de pH e cloro

Como tem vindo a ser referido ao longo deste trabalho, para garantir a eficácia do tratamento da água, para além de controlar a dosagem de desinfectante e o seu valor residual, é indispensável controlar o valor do pH e mantê-lo dentro dos valores limites, adequados ao tipo de desinfectante utilizado.

Para corrigir o pH quando o seu valor estiver alto, deve adicionar-se à água em circulação um produto alcalino, e para fazer o baixar, utiliza-se geralmente o ácido clorídrico (ácido muriático) ou o sulfato ácido de sódio. Também se pode usar o gás carbónico na redução do pH, que embora mais caro, tem a vantagem de evitar a manipulação de ácidos e os acidentes que podem ocorrer quando se misturam ácidos com os hipocloritos.

As instalações de tratamento de água nas piscinas municipais de Vale de Cambra dispõem de sistemas para o doseamento e injecção das soluções nos circuitos das tubagens de recirculação. Os sistemas de doseamento de reagentes, constituídos por tanques para preparação das soluções e por bombas doseadoras reguláveis e de funcionamento automático estão previstas e dimensionadas com as capacidades adequadas às necessidades da instalação e aos produtos utilizados. As bombas doseadoras actuam mediante os valores lidos por um eléctrodo adequado a cada reagente instalado na tubagem de recirculação.

Nas piscinas em estudo, as soluções dos diversos produtos para tratamento da água, são injectadas na conduta por meio de bombas doseadores de membrana, com uma capacidade de 10 l/h. Os pontos de injecção estão situados antes dos filtros com excepção do cloro que é introduzido após a filtragem (fig. 72).

A B

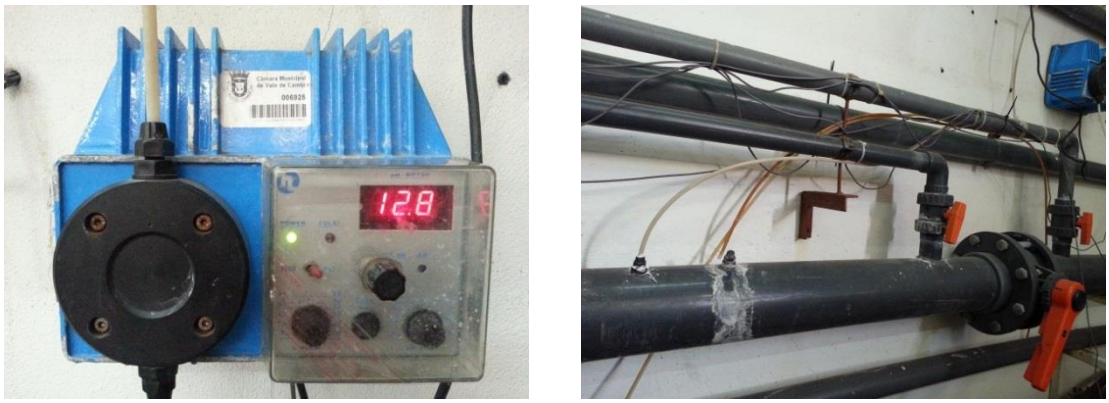


Figura 72 – Bomba doseadora (A) e ponto de injecção na tubagem (B) do sistema de injecção automático de produtos químicos

3.2.2.5. Filtragem

A finalidade da filtragem é de eliminar as partículas em suspensão e reduzir a concentração da fracção coloidal, a níveis que permitam conservar a sua transparência, requisito que, além de ser de verificação obrigatória, permite melhorar a visibilidade do fundo da piscina e, por consequência, assegurar maior vigilância e condições de segurança. Esta operação contribui também, de forma decisiva, para aliviar e facilitar o processo de desinfecção.

Nas piscinas municipais de Vale de Cambra, são utilizados filtros fechados, sob pressão e com leito filtrante em material granular (areia). Nos filtros de areia, os invólucros, em aço ou resina, são preenchidos com areia de alto teor de sílica, em camada com granulometria única ou em múltiplas camadas de granulometria variável. A água poluída entra no filtro pela parte superior, e depois de atravessar a massa que constitui o leito filtrante, é recolhida na zona inferior.

Nos filtros de areia, as partículas devem poder penetrar na massa filtrante e ficarem retidas no seu meio e não à superfície. Nestes filtros, a utilização de floculantes é quase obrigatória e permite remediar a relativa pouca finura de filtração característica dos leitos filtrantes de areia (cerca de 40 a 100 mícron). Nesta operação, por acção de agentes químicos, que em reacção com a água formam precipitados gelatinosos, as partículas coloidais e os materiais mais finos em suspensão são aglutinadas em flocos maiores com dimensão suficiente para serem retidos nos interstícios da areia, e removidos posteriormente na lavagem.

As piscinas interiores das piscinas municipais contam com três filtros, e as piscinas exteriores treze filtros, visto que o volume da piscina exterior é muito superior à primeira referida (fig. 73) [3].

Figura 73 - Filtro da piscina interior

3.2.2.6. Aquecimento da água

O aquecimento da água é feito através de permutadores de calor água/água (fig. 74). Os permutadores de calor utilizados nas piscinas municipais de Vale de Cambra são constituídos por uma serie de placas montadas e corrugadas. Entre as placas existem dois canais, sendo um deles utilizado para a passagem do fluido frio, e o outro para o fluido quente. Estes fluidos estão separados pelas placas, circulando em sentido contrario. Nestes equipamentos, a corrosão pode dificultar gravemente o seu funcionamento, obstruindo os canais ou mesmo deteriorando-os. No entanto, a água não passa constantemente pelo permutador de calor. Existe uma tubagem ligada directamente ao tanque da piscina, contendo uma válvula controlada por um termostato, que irá abrir ou fechar, totalmente ou parcialmente, mediante a temperatura da água requerida. No caso de existir a necessidade de aquecer a água, a válvula fecha parcialmente ou totalmente, obrigando parte da água a passar pelo permutador de calor, no caso contrário, se a água tiver a temperatura requerida, a água é dirigida directamente no tanque da piscina.

A B

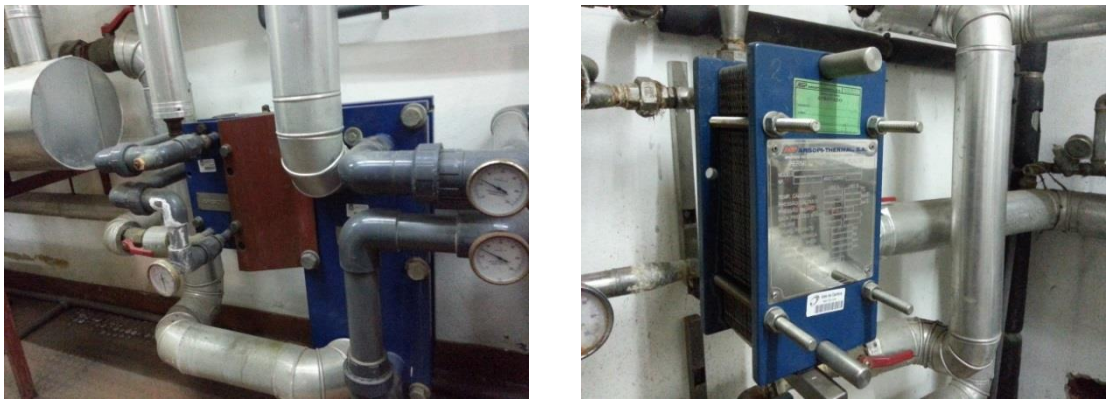


Figura 74 - Permutador de calor do tanque de competição (A) e do tanque de aprendizagem (B)

O aquecimento da água é feito através de duas caldeiras a gás, ligadas a dois termoacumuladores (fig. 75).

A B

Figura 75 - Caldeiras (A) e termoacumuladores (B)

O aquecimento da água não faz parte do circuito de tratamento ou armazenamento, no entanto, é importante referir esta etapa, visto ser um local onde pode existir corrosão, dificultando o bom funcionamento da piscina.

3.3. Identificação dos problemas

Desde o início da minha carreira profissional ao serviço da Câmara municipal de Vale de Cambra, mais propriamente na estação de tratamento de água de Vale de Cambra, e após uma curta passagem pelas piscinas, pude verificar diversos casos de deterioração de materiais metálicos e não-metálicos, envolvendo diversos processos corrosivos. Em grande parte dos casos, se essa deterioração tivesse sido devidamente considerada em fase de projecto, e tendo em conta certos detalhes construtivos, os ataques corrosivos poderiam ter sido evitados, ou pelo menos minimizados. Importa referir que a tomada de decisões em relação a certos detalhes construtivos não implica necessariamente um aumento de custo. Em muitos casos, os estudos levam em conta a compatibilidade do material e do meio, mas desprezam muitas vezes possíveis alterações operacionais ou ambientais.

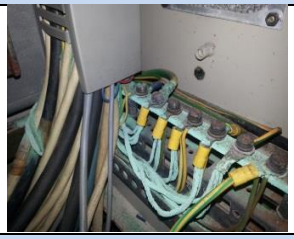
Todos esses ataques corrosivos, verificados até à data presente, mostram que mesmo materiais com custos mais elevados não são imunes à corrosão quando não são adequadamente indicados e utilizados.

Na tabela 5, poderão ser observados diversos casos de ataques corrosivos em materiais metálicos e não-metálicos, encarados na E.T.A. de Vale de Cambra e nas piscinas municipais de Vale de Cambra, apresentando os seguintes dados:

- Produto (designação do componente/equipamento);

- Local de instalação do componente/equipamento (Reservatório, E.T.A., piscina, etc.);
- Localização da instalação municipal (nome do lugar).

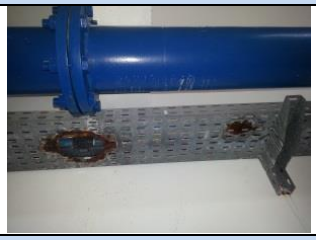
Tabela 5 – Identificação dos casos de estudo

Caso Nº1		
Componente/Equipamento	Parafusos da junta na tubagem de entrada de água do reservatório	
Local do Componente/Equipamento	Reservatório de água (R2).	
Local da instalação	Cartim	
Caso Nº2		
Componente/Equipamento	Painel de suporte para analisadores de água	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº3		
Componente/Equipamento	Barramento e fios do quadro eléctrico principal	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº4		
Componente/Equipamento	Válvula reguladora situada á saída da garrafa de cloro em gás	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº5		
Componente/Equipamento	Cobertura do reservatório interno da E.T.A.	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	

Identificação dos casos de estudo (continuação)

Caso Nº6		
Componente/Equipamento	Apoio do tubo de entrada de água do reservatório.	
Local do Componente/Equipamento	Reservatório de água (R2)	
Local da instalação	Cartim	
Caso Nº7		
Componente/Equipamento	Aro de porta	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Burgães	
Caso Nº8		
Componente/Equipamento	Chão de reservatório	
Local do Componente/Equipamento	Reservatório de água (R2)	
Local da instalação	Cartim	
Caso Nº9		
Componente/Equipamento	Protecção da ventilação de arrefecimento da electrobomba de elevação	
Local do Componente/Equipamento	Reservatório de água (R2)	
Local da instalação	Cartim	
Caso Nº10		
Componente/Equipamento	Grelha de protecção das correias dos compressores de ar para lavagem dos filtros	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº11		
Componente/Equipamento	Suporte das bombas de pressurização interna da E.T.A.	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	

Identificação dos casos de estudo (continuação)

Caso Nº12		
Componente/Equipamento	Abraçadeira metálica para suporte de tubo de aço-inoxidável	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº13		
Componente/Equipamento	Guia para tubagens de água clorada	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº14		
Componente/Equipamento	Suporte de bomba de amostragem para analisadores de água	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº15		
Componente/Equipamento	Tubagem de cloro gás	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº16		
Componente/Equipamento	Tubagem de cloro gás	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº17		
Componente/Equipamento	Escadas internas do reservatório	
Local do Componente/Equipamento	Reservatório de água (R7)	
Local da instalação	Reservatório	

Identificação dos casos de estudo (continuação)

Caso Nº18		
Componente/Equipamento	Base de balança	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº19		
Componente/Equipamento	Manómetro	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº20		
Componente/Equipamento	Junta de vedação	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº21		
Componente/Equipamento	Suporte de válvulas reguladoras de cloro gás	
Local do Componente/Equipamento	E.T.A	
Local da instalação	Rôge (Padrastos)	
Caso Nº22		
Componente/Equipamento	Abraçadeira metálica	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	
Caso Nº23		
Componente/Equipamento	Perna de secretária	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	

Identificação dos casos de estudo (continuação)

Caso Nº24		
Componente/Equipamento	Suporte de tubagem e equipamento eléctrico	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	
Caso Nº25		
Componente/Equipamento	Electrobomba submersível	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	
Caso Nº26		
Componente/Equipamento	Aro de manómetro de pressão dos filtros	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	
Caso Nº27		
Componente/Equipamento	Torneira para amostras de água do filtro	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	
Caso Nº28		
Componente/Equipamento	Junção de válvula e tubagem	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	
Caso Nº29		
Componente/Equipamento	Parafuso para aperto de válvula	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	

Identificação dos casos de estudo (continuação)

Caso Nº30		
Componente/Equipamento	Porta de quadro eléctrico	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	
Caso Nº31		
Componente/Equipamento	Suporte para tubagem de PVC	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	
Caso Nº32		
Componente/Equipamento	Contador de água	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	
Caso Nº33		
Componente/Equipamento	Perna de cadeira	
Local do Componente/Equipamento	Piscinas Municipais	
Local da instalação	Dairas	

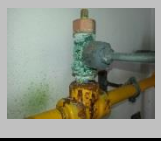
Todos os equipamentos/componentes acima descritos, apresentam diversos tipos de problemas, podendo ser a nível da qualidade da água, assim como a nível da segurança dos operadores, podendo ser de maior ou menor gravidade. Para isso, torna-se importante definir prioridades de actuação, no que diz respeito a solucionar todas estas anomalias. Uma forma eficaz de proceder a esta selecção, passa por avaliar cada caso através de critérios bem definidos, tendo como principal objectivo garantir a qualidade da água e a segurança do operador. Neste estudo, a avaliação será feita segundo os critérios mencionados na tabela 6.

Tabela 6 - Critérios de actuação dos problemas de corrosão identificados

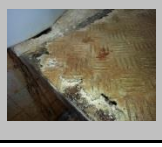
Critérios de actuação seleccionados para a resolução dos problemas de corrosão identificados		
Identificação do critério	**Critério**	**Condições**
CT1	Risco do componente/equipamento contaminar a água	Produtos de corrosão, bactérias, coloração alterada, etc…
CT2	Risco de saúde para o operador	Inalação, pele, etc…
CT3	Risco de acidente físico para o operador em caso de existir degradação total do componente	Acidente físico devido a rebentamento de válvulas, escadas partidas, etc…
CT4	Tempo de paragem total/parcial do abastecimento de água em caso de degradação total inesperada do componente/equipamento	Não há paragem, paragem parcial (dificuldade de mão de obra), paragem total da instalação.
CT5	Estado de degradação do componente/equipamento	Pouco corroído, estado avançado de corrosão, etc…
CT6	Importância do componente/equipamento no que diz respeito ao tratamento da água	Importante ou não importante na adição de produtos químicos ou outros produtos que possam garantir a boa qualidade da água
CT7	Complexidade do componente	Fácil ou difícil substituição no que diz respeito ao componente/Equipamento propriamente dito
CT8	Tempo previsto para a substituição do componente/equipamento em condições normais de trabalho (pedido e fornecimento do equipamento + mão de obra + possíveis tempos de espera para a devida reparação	Tempo relativamente curto, reparação demorada podendo ir de poucos dias a varias semanas

Estes critérios são avaliados de 0 a 100 mediante a gravidade do problema, sendo 0 para baixo/nenhum e 100 para muito/alto, conforme a tabela 7.

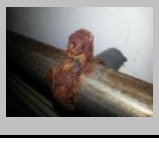
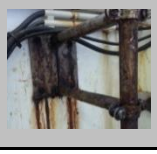
Tabela 7 - Avaliação dos critérios de actuação seleccionados

Critérios de actuação seleccionados para a resolução dos problemas de corrosão i								
CASOS	**Componente/Equipamento**	**Figura**	**CT1**	**CT2**	**CT3**	**CT4**	**CT5**	
CASO 1	Parafusos da junta na tubagem de entrada de água do reservatório		0	0	25	25	100	
CASO 2	Painel de suporte para analisadores de água		0	0	0	0	15	
CASO 3	Barramento e fios do quadro eléctrico principal		0	0	0	60	80	
CASO 4	Válvula reguladora situada á saída da garrafa de cloro em gás		75	100	25	0	50	

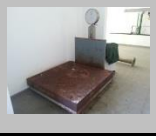
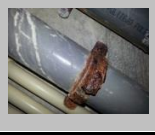
Avaliação dos critérios de actuação seleccionados (continuação)

CASO 5	**Cobertura do reservatório interno da E.T.A.**		**10**	**0**	**100**	**0**	**75**
CASO 6	Apoio de tubo de entrada de água do reservatório		0	0	0	0	100
CASO 7	Aro da porta		10	0	25	0	100
CASO 8	Chão de reservatório		10	0	100	0	80
CASO 9	Protecção da ventilação de arrefecimento da electrobomba de elevação		0	0	25	75	50
CASO 10	Grelha de protecção das correias dos compressores de lavagem dos filtros		0	0	100	0	100

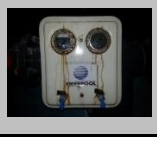
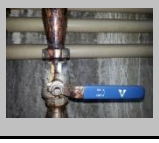
Avaliação dos critérios de actuação seleccionados (continuação)

CASO 11	**Suporte das bombas de pressurização interna da E.T.A.**		**0**	**0**	**0**	**25**	**80**
CASO 12	Abraçadeira metálica para suporte de tubo de aço-inoxidável		0	0	0	0	100
CASO 13	Guia para tubagens de água clorada		0	0	0	25	25
CASO 14	Suporte de bomba de amostragem para analisadores de água		15	0	25	0	85
CASO 15	Tubagens de cloro gás		75	100	100	50	75
CASO 16	Tubagens de cloro gás		50	50	50	25	75

Avaliação dos critérios de actuação seleccionados (continuação)

CASO 17	**Escadas internas do reservatório**		**25**	**0**	**50**	**50**	**75**
CASO 18	Base de balança		0	0	0	0	75
CASO 19	Manómetro		25	100	100	25	50
CASO 20	Junta de vedação		25	0	0	75	75
CASO 21	Suporte de válvulas reguladoras de cloro gás		0	25	0	0	25
CASO 22	Abraçadeira metálica		0	0	0	0	100

Avaliação dos critérios de actuação seleccionados (continuação)

CASO 23	**Perna de secretária**		**0**	**0**	**25**	**0**	**75**
CASO 24	Suporte de tubagem e equipamento eléctrico		0	0	25	75	75
CASO 25	Electrobomba submersível		0	0	25	0	75
CASO 26	Aro de manómetro de pressão dos filtros		0	0	0	0	75
CASO 27	Torneira para amostras de água de filtro		0	0	0	0	50
CASO 28	Junção de válvula e tubagem		25	25	25	50	50

Avaliação dos critérios de actuação seleccionados (continuação)

CASO 29	**Parafuso para aperto de válvula**		**0**	**0**	**25**	**25**	**100**
CASO 30	Porta de quadro eléctrico		0	25	25	0	25
CASO 31	Suporte para tubagem de PVC		0	0	25	75	50
CASO 32	Contador de água		25	0	25	75	100
CASO 33	Perna de cadeira		0	0	75	0	75

Nos gráficos seguintes, podemos observar de forma mais clara, a avaliação obtida através da tabela acime representada. No primeiro gráfico pode-se observar a avaliação obtida por ordem de apresentação dos casos descritos neste capítulo, estando no segundo gráfico apresentando por ordem decrescente de prioridade.

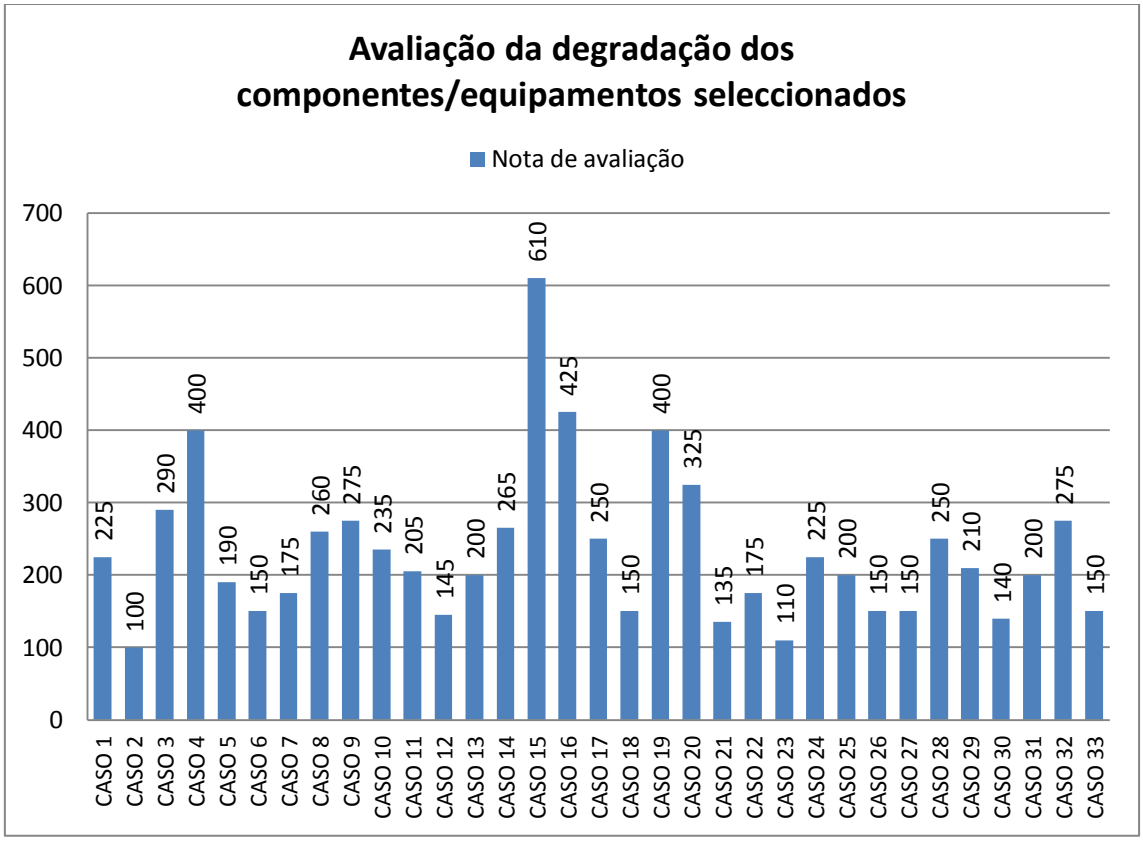


Gráfico 1 - Avaliação da degradação dos materiais por ordem de apresentação

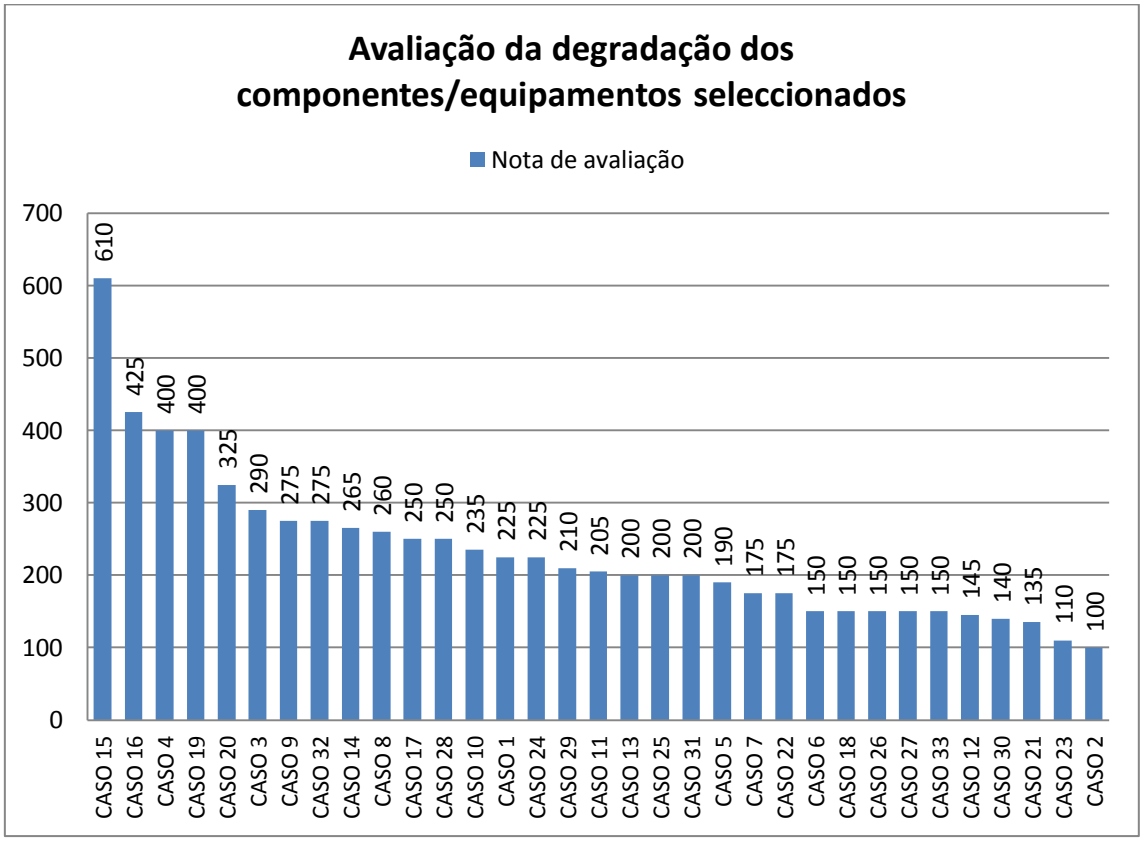


Gráfico 2 - Avaliação da degradação dos materiais por ordem decrescente

Através da avaliação obtida, podemos separar estes casos de estudo em três graus distintos de importância, no que diz respeito à prioridade da resolução dos problemas, conforme está representado na tabela seguinte.

Tabela 8 - Prioridade de actuação para a resolução dos problemas verificados

Casos	Importância	Nº de casos	% dos casos	Critério
15, 16, 4, 19, 20.	Elevada	5	15%	≥ 300
3, 9, 32, 14, 8, 17, 28, 10, 1, 24, 29, 11, 13, 25, 31.	Média	15	45%	$200 \leq caso < 300$

Prioridade de actuação para a resolução dos problemas verificados (continuação)

5, 7, 22, 6, 18, 26, 27, 33, 12, 30, 21, 23, 2.	Baixa	13	40%	$1 \leq caso < 100$

Podemos concluir através desta análise, que 15% dos casos representam uma prioridade de actuação de elevada importância para a resolução dos problemas. Podemos observar que os casos assinalados de elevada importância estão todos ligados ao sistema de tratamento de água, nos quais se encontram os teores de cloro mais elevados nas instalações. Estes casos podem representar um perigo elevado para os operadores em caso de acidente inesperado, e comprometer em alguns casos, a devida qualidade da água em caso de degradação total, sendo difícil, nestas casos, definir prazos até a falha total do equipamento/componente.

Com uma prioridade de actuação de média importância para a resolução dos problemas, estão assinalados 45% dos casos. Estes caso estão geralmente ligados ao funcionamento das instalações (instalações eléctricas, bombas, suportes, etc.), não metendo em causa a devida qualidade da água nem um elevado perigo para o operador, na maior parte dos casos, tendo em conta que pode existir métodos alternativos de emergência, e que é possível verificar o risco e possíveis prazos até a falha total do equipamento/componente. Contudo, este nível de prioridade merece atenção para que a instalação na qual se encontre o equipamento/componente, esteja o mínimo de tempo parada (caso exista paragem), em caso de falha total dos mesmos.

Nos restantes 40% dos casos, o nível de importância de actuação para a resolução dos problemas é baixa. São equipamentos/componentes de fácil substituição, nos quais existem métodos alternativos para o fim a qual se destinam. Mesmo estando com um estado de degradação avançado, encontram-se visível para o operador, sendo em alguns casos necessário evitar a utilização do mesmo, podendo nesse caso criar algum perigo. A utilização destes equipamentos/componentes não comprometem a devida qualidade da água, daí poder também ser evitada a utilização dos mesmos.

3.4. Elencagem dos fenómenos que poderão estar na origem de cada problema

Para este estudo, foram observados diversos equipamentos/componentes, metálicos e não-metálicos, encontrados em varias instalações municipais, como estações de tratamento de água (E.T.A.), reservatórios e piscinas, onde foi possível constatar de forma visual e táctil, diversos casos e tipos de ”corrosão”.

Para se entender, de forma mais clara os tipos de problemas encontrados e as suas possíveis causas, foi realizada uma análise separada em materiais metálicos e materiais poliméricos, sendo estes os principais tipos de materiais utilizados.

3.4.1. Problemas encontrados e possíveis causas em materiais metálicos

O desempenho dos equipamentos/componentes metálicos utilizados nas instalações municipais em estudo são condicionados, principalmente pela resistência à corrosão dos materiais que os constituem, sendo esta a sua principal causa de degradação. Os ataques corrosivos destes materiais provocam falhas no bom funcionamento das instalações, e em alguns casos, a deterioração do meio envolvente. Existem vários factores que favorecem a corrosão, contribuindo para acelera-la, ou mesmo provocar o seu aparecimento, sendo de referir os seguintes:

- Escolha impropria de materiais;
- Projectos com tensões residuais maiores que as previstas;
- Mudanças bruscas de secção e defeitos de soldadura;
- Contactos galvânicos;
- Manutenções inadequadas;
- Mudanças inesperadas do ambiente em que se encontram os materiais, e condições diferentes às do projecto como a temperatura, velocidade de fluidos, aeração, etc.);
- Falta de revestimentos ou filmes protectores.

Nas instalações municipais, encontram-se elementos metálicos que contactam com diversos meios, tais como:

- Atmosféricos – espaços de comando, tratamento, tubagens e acessórios de reservatórios, ETA e piscinas;
- Água potável – sistemas de distribuição de água;
- Solo – condutas enterradas.

Devido a esta diversidade de condições, os problemas de corrosão que podem ocorrer nos materiais metálicos são extremamente variados. Neste estudo, são apenas considerados os

aspectos relativos à corrosão de materiais metálicos em meio atmosférico e em água para consumo humano, indicando os tipos de corrosão mais comuns e provavelmente sofridos na presença de cloro e seus derivados.

Os metais mais utilizados nas redes de distribuição de água (E.T.A. e reservatórios), são o aço galvanizado, o aço inoxidável, o cobre e o latão, sendo este último principalmente utilizado em acessórios. Como já foi referido anteriormente, o chumbo já foi muito utilizado na distribuição de água, tendo sido banido devido a toxicidade que transmitia para a água. Os principais tipos de corrosão que afectam componentes/equipamentos observados em diversas instalações municipais, constituídos por os materiais acima mencionados, são os seguintes [12]:

Tabela 9 - principais formas de corrosão observados em equipamentos/componentes municipais

Tipos de corrosão	Materiais
Uniforme	• Aço galvanizado; • Cobre; • Latão.
Picadas	• Aço galvanizado; • Aço inoxidável; • Cobre.
Intersticial	• Aço galvanizado; • Aço inoxidável; • Cobre; • Latão.
Galvânica/bimetálica	• Aço galvanizado.
Erosão	• Cobre; • Latão.
Deszincificação	• Latão.

Este tipo de corrosão, verificada em vários equipamentos/componentes, causam danos que tem por consequências mais comuns, a perda de espessura, alterações das propriedades mecânicas, roturas, obstrução de válvulas e tubagens devido aos produtos de corrosão, etc.

Após todo o estudo realizado anteriormente, e anomalias observadas nas instalações em estudo, pode-se afirmar que, geralmente, os ataques corrosivos em sistemas e redes de abastecimento de água, são principalmente originados pelos seguintes factores:

- Má concepção e dimensionamento;
- Selecção de materiais inadequados;
- Deficiências nas montagens.

3.4.1.1. Má concepção e dimensionamento

Nas instalações, são muitas vezes utilizadas tubagens, em que as características da liga (composição química ou processo de fabrico), não são adequadas para o contacto com água contendo cloro, visto que o cloro é um electrólito forte. O mesmo aplica- se aos acessórios das tubagens. Nas instalações em estudo encontram-se muitas vezes acessórios em latão, contendo geralmente um teor de zinco superior a 15%, sendo susceptíveis de sofrer deszincificação.

3.4.1.2. Selecção de materiais inadequados

O subdimensionamento das tubagens instaladas, ou seja, tubagens cujo diâmetro é demasiado pequeno para os caudais necessários no abastecimento e distribuição de água, ou quando existe uma alteração brusca de direcção ou de secção no circuito, gera um fluxo turbulento, e conduzem a velocidades de escoamento demasiado elevadas, originam a corrosão-erosão, levando posteriormente à rotura.

Outro fenómeno de degradação de materiais metálicos observados nas instalações, é originado pela existência de zonas que permitem a retenção da água no circuito, ficando estagnada, onde se acumulam partículas que possam estar em suspensão na água, favorecendo a ocorrência de corrosão intersticial.

3.4.1.3. Deficiências nas montagens

Durante a montagem de equipamentos, componentes ou acessórios, pode-se cometer diversos erros, que podem originar ataque corrosivos. Nas instalações em estudo, verificou-se principalmente a degradação de vários componentes/equipamentos na zona de união, sendo originado pelos seguintes factores:

Soldaduras imperfeitas e irregulares, com falhas e preenchimentos incompletos na zona da união, provocando fendas e interstícios que favorecem, não só a acumulação de partículas em

suspensão, mas também a concentração de agentes agressivos como o cloro, promovendo também a corrosão intersticial.

A utilização de acessórios (uniões) de materiais mais nobres também pode ser considerada como um erro de montagem. Nas instalações observadas, verificaram-se vários casos de acessórios de latão para ligar aço galvanizado, que irá causar corrosão acelerada da tubagem junto a zona de união. Esta forma de corrosão é denominada por corrosão bimetálica ou corrosão galvânica. Como já foi referido anteriormente, a diferença de potencial pode ser gerada por duas formas distintas:

- Através de dois metais diferentes numa solução;
- Em regiões diferentes do mesmo metal.

Quando estas situações se verificam juntamente com a falta de protecção física, dá-se início a um processo que pode atingir elevados níveis de corrosão, podendo levar mesmo até a degradação total do material, tornando-o inutilizável.

Uma grande parte da degradação dos equipamentos/componentes observados nas instalações em estudo, devem-se a este tipo de ataque corrosivo que, aliado ao meio em que se encontram, promove o ataque com maior facilidade.

3.4.1.4. Acção do meio

Todos estes equipamentos/componentes estudados encontram-se em contacto com elevados teores de cloro e outros produtos químicos, contactando directamente com água clorada, ou apenas com o meio atmosférico presente, contendo maiores ou menores concentrações de cloro, dependendo das situações. A mistura do cloro presente na atmosfera, com a humidade e outros componentes presentes na atmosfera, interage com os materiais expostos, permitindo assim a acção agressiva do cloro. Nos casos práticos verificados e após o estudo teórico realizado, pode-se apontar três formas do cloro atacar os aços:

1. Os iões de cloro penetram no filme de óxido passivante do aço mais facilmente que outros óxidos, através da existência de poros ou defeitos;
2. Os iões Cl^- são absorvidos na superfície metálica, onde o cloro promove a hidratação dos iões metálicos facilitando deste modo a sua dissolução;
3. Os iões Cl^- competem com os iões OH^- para a produção de iões ferrosos pela corrosão, formando então um composto solúvel de cloreto de ferro. Este pode difundir-se a partir das áreas anódicas originando assim a destruição da

camada protectora do material e permitindo a continuação do processo corrosivo. A certa distância do eléctrodo, o composto é destruído, precipitando o hidróxido de ferro e os iões de cloro ficam libres pra transportar mais iões ferrosos da área anódica para a área catódica.

Como já foi referido, os materiais observados para este estudo estão principalmente sujeitos à acção da atmosfera, onde o principal factor que influencia a corrosão é a contaminação por cloro. Um outro factor determinante para a extensão da corrosão que virá a acontecer, é o período de tempo durante o qual a superfície de um metal vai permanecer húmida, visto que quanto mais elevado for a humidade e a temperatura, aliados a um longo período de tempo, maior será o ataque corrosivo. O cloro presente na atmosfera interna das instalações, deve se ao fenómeno de condensação, que resultam das diferenças térmicas entre o interior e o exterior.

Os materiais mais degradados são geralmente encontrados próximos dos locais onde é realizada a diluição de solução de NaClO. Estes locais favorecem o ataque aos materiais, visto que os gases libertados pela solução ficam retidos na atmosfera, diminuindo o poder corrosivo à medida que os materiais estejam mais afastados da zona de diluição. Esta zona é também problemática para os materiais, no que toca à corrosão, visto ser uma zona muito propícia a roturas nas tubagens de bombas doseadoras de NaClO. Quando ocorre uma rotura numa destas tubagens, a solução diluída de NaClO contacta directamente com os materiais mais próximos, podendo haver estagnação do fluido. Neste caso, os materiais estão em contacto directo com um teor de cloro muito elevado. Quando ocorre a permanência prolongada de água, contendo agentes agressivos em condições de estagnação, verifica-se o desenvolvimento de corrosão intersticial ou por picadas [12].

3.4.2. Problemas encontrados e possíveis causas em materiais poliméricos

A degradação dos polímeros é muito diferente dos outros processos já discutidos. Nas instalações municipais verificou-se que os polímeros que estão expostos a certos produtos químicos podem ser atacados ou dissolvidos. A exposição a temperaturas mais elevadas que a temperatura ambiente também favorece a deterioração do material. Como já foi referido, a maior parte dos equipamentos/componentes são constituídos por materiais metálicos, no entanto, importa estudar os polímeros, visto que este material contacta com soluções contendo teores cloro mais elevados que a maioria dos metais. De uma forma geral, verificou-se que a degradação dos polímeros é evidenciada pela deterioração progressiva das suas propriedades, juntamente com a alteração do especto visual, sendo mais difícil distinguir ataques corrosivos nos polímeros que nos metais. Nas instalações em estudo, verificou-se um

aumento da fragilidade do material nas tubagens do sistema de doseamento de cloro em gás, assim como nas tubagens para o doseamento de NaClO, levando muitas vezes à rotura, devido também a vibrações causadas pelo funcionamento das bombas doseadoras. Visto que o envelhecimento está relacionado com o factor tempo, e é sempre prejudicial ao polímero, pode-se afirmar que em certas situações verificadas nas instalações, o polímero é envelhecido devido ao ambiente quimicamente agressivo em que se encontra, com temperatura mais elevada que a temperatura ambiente, e associado a solicitações mecânicas em certos casos. De acordo com o estudo teórico, o envelhecimento pode originar a redução da massa molar no caso do polipropileno, cisão da cadeia polimérica no caso do polietileno ou a transformação de densidade, como no caso do PEAD que pode ser transformado em PEBD. Por outro lado, muitos polímeros são intensionalmente carregados de plastificantes que podem ser lixiviados, causando também fragilidade ou outras alterações indesejáveis. No transporte de cloro em gás constituído por tubos poliméricos, verificou-se a presença de pequenas partículas metálicas e poliméricas no interior da tubagem, que podem ter sido arrastadas devido a velocidade do gás. Essas partículas devem-se à degradação interna das garrafas de "cloro gás", que por consequência libertaram pequenas partículas poliméricas da própria tubagem, possivelmente devido a um processo abrasivo. Nas tubagens poliméricas utilizadas para o doseamento de NaClO, verifica-se que o fluido encontra-se estagnado no seu interior sempre que as bombas doseadoras estão paradas. A acção do cloro, tal como para os metais, favorece o aumento da velocidade de corrosão dos materiais, visto ser um agente químico forte, reagindo então com a composição química do material polimérico [12].

3.5. Medição do tempo de vida útil de cada equipamento/componente

De uma forma geral, podemos definir a vida útil de um material, equipamento ou componente, como sendo o período de tempo durante o qual são mantidas condições satisfatórias de utilização, atendendo às finalidades a que se destinam na realização do projecto.

Nenhum material é eternamente durável, pois as suas propriedades variam em consequência da interacção da sua estrutura, mais especificamente, da sua microestrutura com o meio ambiente. As variações decorrem ao longo do tempo e a vida útil de um determinado material, e são finalizadas quando as suas propriedades tornam a sua utilização insegura ou dispendiosa.

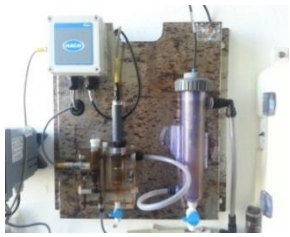
A durabilidade é uma das exigências do projecto à qual muitas vezes não é dado o devido valor. Esta propriedade apresenta uma especificidade, que somente pode ser avaliada conjuntamente com outras exigências, tais como a segurança e o bom desempenho em serviço. A durabilidade não é simplesmente uma característica dos materiais, mas um

resultado da interacção de um material ou componente com o meio ambiente, podendo provocar degradação. A durabilidade também pode ser expressa em termos de vida útil, definida como o período de tempo durante o qual um produto atende às exigências requeridas. Um bom desempenho do material ou componente ao longo da vida útil, é considerado como sinónimo de durabilidade.

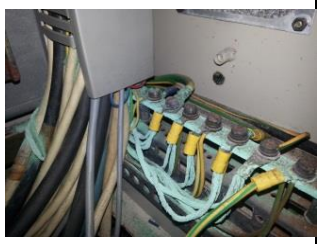
A tabela 10 representa os casos de degradação dos diversos componentes/equipamentos encontrados nas instalações municipais de Vale de Cambra, tendo como objectivo a medição da vida útil de cada material. Para isso, serão abordados os seguintes parâmetros:

- Produto (designação do componente/equipamento);
- Tipo de material;
- Composição química (sempre que for conhecida);
- Tempo aproximado de serviço;
- Características do componente/equipamento.

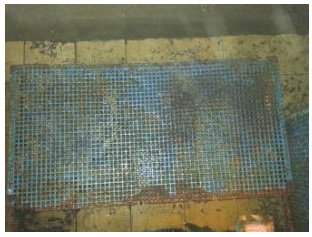
Tabela 10 - Características e tempo útil de vida do caso de estudo

Caso Nº1		
Componente/Equipamento	Parafusos da junta na tubagem de entrada de água do reservatório	
Material	Aço ao carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 10 anos	
Características	Dimensões de um parafuso: Diâmetro: 20 mm Comprimento: 200 mm	
Caso Nº2		
Componente/Equipamento	Painel de suporte para analisadores de água	
Material	Aço inoxidável 316L	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 2 anos	
Características	Painel com quatro dobras e quatros furos para fixação do mesmo, com as seguintes dimensões: - Comprimento: 600 mm - Largura: 500 mm - Espessura: 3 mm - Diâmetro dos furos: 8 mm	

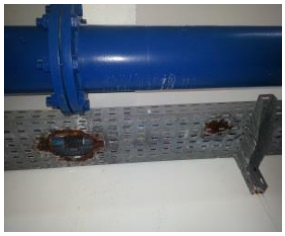
Características e tempo útil de vida do caso de estudo (continuação)

Caso Nº3		
Componente/Equipamento	Barramento e fios do quadro eléctrico principal	
Material	Cobre	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 10 anos	
Características	Dimensões do barramento: - Comprimento: 200 mm - Largura: 20 mm - Espessura: 2 mm Secção do fio eléctrico: - Secção: 2,5 mm^2	
Caso Nº4		
Componente/Equipamento	Válvula reguladora de caudal situada á saída da garrafa de cloro em gás	
Material	Cobre	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 4 anos	
Características	Dimensões dos orifícios da válvula: - Diâmetro de entrada: 30 mm - Diâmetro de saída: 6 mm	
Caso Nº5		
Componente/Equipamento	Cobertura do reservatório interno da E.T.A.	
Material	Madeira (Pinho)	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 6 anos	
Características	Dimensões das pranchas: - Comprimento: 900 mm - Largura: 200 mm - Espessura: 30 mm	
Caso Nº6		
Componente/Equipamento	Apoio do tubo de entrada de água do reservatório	
Material	Aço ao carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 10 anos	
Características	Apoio constituído por duas meias-luas. Cada meia-lua tem dois furos, e são unidas por parafusos. As meias-luas têm as seguintes dimensões: - Diâmetro interior: 120 mm - Espessura: 5 mm - Diâmetro dos furos: 20 mm	

Características e tempo útil de vida do caso de estudo (continuação)

Caso Nº7		
Componente/Equipamento	Aro de porta	
Material	Madeira (Pinho)	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 10 anos	
Características	Aro pintado com as seguintes dimensões: - Comprimento: 2100 mm - Largura: 45 mm - Espessura: 20 mm	
Caso Nº8		
Componente/Equipamento	Chão de reservatório	
Material	Alumínio	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 10 anos	
Características	Chapa de alumínio antiderrapante ligada à estrutura metálica por rebitagem, com as seguintes dimensões: - Comprimento: 2000 mm - Largura: 1000 mm - Espessura: 3 mm	
Caso Nº9		
Componente/Equipamento	Protecção da ventilação de arrefecimento da electrobomba de elevação	
Material	Aço ao carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 10 anos	
Características:	Chapa furada no topo com as seguintes dimensões: - Diâmetro exterior: 260 mm - Espessura: 1,5 mm	
Caso Nº10		
Componente/Equipamento	Grelha de protecção das correias dos compressores de ar para lavagem dos filtros	
Material	Aço ao carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 10 anos	
Características	Grelha pintada com furação quadrada, com as seguintes dimensões: - Furação: 5 mm X 5 mm - Comprimento: 1000 mm - Largura: 500 mm - Profundidade: 125 mm	

Características e tempo útil de vida do caso de estudo (continuação)

Caso Nº11		
Componente/Equipamento	Suporte das bombas de pressurização interna da E.T.A.	
Material	Aço ao carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 10 anos	
Características	Suporte com quatro dobras e quatros furos para fixação do mesmo, com as seguintes dimensões: - Comprimento: 700 mm - Largura: 200 mm - Espessura: 4 mm - Diâmetro dos furos: 12 mm	
Caso Nº12		
Componente/Equipamento	Abraçadeira metálica para suporte de tubo de aço-inoxidável	
Material	Aço ao carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 10 anos	
Características	Abraçadeira constituída por duas meias-luas. Cada meia-lua têm dois furos, e são unidas por parafusos. As meias-luas têm as seguintes dimensões: - Diâmetro interior: 35 mm - Espessura: 2 mm - Diâmetro dos furos: 4 mm	
Caso Nº13		
Componente/Equipamento	Guia para tubagens de água clorada	
Material	Aço galvanizado	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 10 anos	
Características	Chapa furada, com duas dobras contendo as seguintes dimensões: - Comprimento: 2500 mm - Largura 200 mm - Espessura: 2,5 mm - Altura lateral da chapa dobrada: 50 mm	

Características e tempo útil de vida do caso de estudo (continuação)

Caso Nº14		
Componente/Equipamento	Suporte de bomba de amostragem para analisadores de água	
Material	Aço inoxidável 316L	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 10 anos	
Características:	Suporte constituído por uma chapa quadrada e três tubos. A chapa quadrada contém quatro furos para fixação do mesmo. Dois tubos soldados à chapa quadrada fixam o tubo que segura a bomba de amostragem através de abraçadeiras. As dimensões deste suporte são as seguintes: Chapa quadrada: - Comprimento: 150 mm - Largura:120 mm - Espessura: 4 mm Tubos soldados à chapa quadrada: - Diâmetro exterior: 20 mm - Espessura: 2 mm - Comprimento: 240 mm Tubo de suporte da bomba de amostragem: - Diâmetro exterior: 20 mm - Espessura: 2 mm - Comprimento: 3500 mm Furação de fixação da chapa quadrada: - Diâmetro: 6 mm	
Caso Nº15		
Componente/Equipamento	Tubagem de cloro gás	
Material	Cobre	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 2 anos	
Características:	Tubo com ponteira de fixação roscada com as seguintes dimensões: Ponteira roscada: - Diâmetro exterior: 20 mm - Diâmetro interior: 16 mm - Comprimento: 20 mm Tubo: - Diâmetro exterior: 8 mm - Diâmetro interior: 6 mm - Comprimento: 1000 mm	

Características e tempo útil de vida do caso de estudo (continuação)

Caso Nº16		
Componente/Equipamento	Tubagem de cloro gás	
Material	Poliamida	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 2 anos	
Características	Tubagem para ligação entre válvulas, contendo permanentemente cloro em gás no seu interior, possuindo as seguintes dimensões: - Diâmetro exterior: 10 mm - Diâmetro interior: 8 mm	
Caso Nº17		
Componente/Equipamento	Escadas internas do reservatório	
Material	Aço-carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Mais de 15 anos	
Características	Escada pintada, parcialmente submersa em água para abastecimento público, fixas à estrutura do reservatório através de parafusos, o material foi dobrado na parte exterior da escada de modo a facilitar o apoio à entrada no interior do reservatório. A escada tem as seguintes dimensões: - Comprimento: 4500 mm - Largura: 40 mm - Espessura: 10 mm - Diâmetro interno da dobra: 250 mm	
Caso Nº18		
Componente/Equipamento	Base de balança	
Material	Aço-carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 10 anos	
Características	Base rectangular com as seguintes dimensões: - Comprimento: 1350 mm - Largura: 1300 mm - Espessura: 3,5 mm	

Características e tempo útil de vida do caso de estudo (continuação)

Caso Nº19		
Componente/Equipamento	Manómetro	
Material	Aço inoxidável 316L	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 2 anos	
Características	Manómetro constituído por uma escala indicadora de pressão com forma circular e por um corpo cilíndrico com uma entrada e uma saída de pressão, possuindo as seguintes dimensões: Escala indicadora de pressão: - Diâmetro: 70 mm - Profundidade: 20 mm Corpo cilíndrico: - Diâmetro da entrada de pressão: 15 mm - Diâmetro da saída de pressão: 15 mm - Diâmetro do corpo: 50 mm	

Caso Nº20		
Componente/Equipamento	Junta de vedação	
Material	Elastómero	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 6 anos	
Características	Junta de forma circular com as seguintes dimensões: - Diâmetro exterior: 100 mm - Diâmetro interior: 50 mm - Espessura: 3 mm	

Caso Nº21		
Componente/Equipamento	Suporte de válvulas reguladoras de cloro gás.	
Material	Aço-inoxidável.	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 2 anos	
Características	Suporte com duas dobras, contendo dois furos e fixo a estrutura do edifício através de parafuso. O suporte possui as seguintes dimensões: - Comprimento: 140 mm - Largura: 30 mm - Espessura: 2 mm - Diâmetro dos furos: 6 mm	

Características e tempo útil de vida do caso de estudo (continuação)

Caso Nº22		
Componente/Equipamento	Abraçadeira metálica	
Material	Aço carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 2 anos	
Características	Abraçadeira constituída por duas meias-luas. Cada meia-lua tem dois furos, e são unidas por parafusos. As meias-luas têm as seguintes dimensões: - Diâmetro interior: 60 mm - Espessura: 2 mm - Diâmetro dos furos: 4 mm	
Caso Nº23		
Componente/Equipamento	Perna de secretária	
Material	Aço ao carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 8 anos	
Características	Secretária com quatro apoios com as seguintes dimensões: - Comprimento: 700 mm - Largura: 35 mm - Espessura: 1,5 mm	
Caso Nº24		
Componente/Equipamento:	Suporte de tubagem e equipamento eléctrico	
Material	Aço inoxidável 316L	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 10 anos	
Características	Suporte constituído por quatro chapa rectangulares e seis perfis em L. cada chapa rectangular contém um furo para fixação do apoio. Quatro perfis em L soldados às chapas quadradas fixam outros dois perfis em L, que possuem 4 furos e seguram o equipamento eléctrico através de parafusos. As dimensões deste suporte são as seguintes: Chapa quadrada: - Comprimento: 75 mm - Largura: 40 mm - Espessura: 4 mm Perfis em L soldados à chapa quadrada: - Comprimento: 350 mm - Largura: 40 mm - Espessura: 4 mm Perfis em L de suporte do equipamento eléctrico: - Comprimento: 300 mm - Largura: 40 mm - Espessura: 4 mm	

Características e tempo útil de vida do caso de estudo (continuação)

Caso Nº25		
Componente/Equipamento	Electrobomba submersível	
Material	Aço inoxidável e ferro fundido	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 5 anos	
Características:	Bomba submersível ligada á tubagem com uma redução de secção, possuindo as seguintes dimensões: - Diâmetro de saída da bomba: 50 mm - Espessura da boca de saída: 10 mm	
Caso Nº26		
Componente/Equipamento	Aro de manómetro de pressão dos filtros	
Material	Aço inoxidável	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 10 anos	
Características	Aro de manómetro com três dobras, com as seguintes dimensões: - Diâmetro exterior: 90 mm - Diâmetro do mostrador: 60 mm	
Caso Nº27		
Componente/Equipamento	**T**orneira para amostras de água do filtro	
Material	Latão	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 5 anos	
Características	Componente hexagonal de interior cilíndrico com o corpo metálico, possuindo uma entrada e uma saída. À saída está ligada uma curva a 90º de material polimérico, e a chave da torneira é igualmente em material polimérico. O componente tem as seguintes dimensões: - Diâmetro interno: 20 mm - Comprimento: 40 mm	
Caso Nº28		
Componente/Equipamento	Junção de válvula e tubagem	
Material	Aço inoxidável	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 10 anos	
Características	Junção que une uma tubagem com redução de secção a uma válvula, originando igualmente uma redução de secção na válvula. A junção possui as seguintes dimensões: - Diâmetro externo: 75 mm - Diâmetro interno: 50 mm - Largura: 22 mm - Espessura: 12,5 mm	

Características e tempo útil de vida do caso de estudo (continuação)

Caso Nº29		
Componente/Equipamento	Parafuso para aperto de válvula	
Material	Aço carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 10 anos	
Características	Parafuso com as seguintes dimensões: - Comprimento: 350 mm - Diâmetro: 35 mm	
Caso Nº30		
Componente/Equipamento	Porta de quadro eléctrico	
Material	Aço ao carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 10 anos	
Características	Porta de equipamento eléctrico contendo uma fechadura, duas dobradiças e uma dobra em cada aresta, possuindo as seguintes dimensões: - Comprimento: 640 mm - Largura: 540 mm - Espessura: 1 mm - Largura da dobra: 10 mm	
Caso Nº31		
Componente/Equipamento	Suporte para tubagem de PVC	
Material	Aço inoxidável	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 5 anos	
Características	Abraçadeira constituída por duas meias-luas. Cada meia-lua tem dois furos, e são unidas por parafusos. Uma das partes da meia-lua está soldada a um perfil em U que se encontra fixa á estrutura. As meias-luas têm as seguintes dimensões: - Diâmetro interior: 250 mm - Espessura: 4 mm - Diâmetro dos furos: 14 mm	
Caso Nº32		
Componente/Equipamento	Contador de água	
Material	Aço carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 10 anos	
Características	Contador de água de corpo circular, com quatro furos e fixo por parafusos. O componente possui as seguintes dimensões: - Distância entre furos: 100 mm - Diâmetro exterior: 125 mm - Diâmetro do mostrador: 75 mm - Espessura do material: 5 mm	

Características e tempo útil de vida do caso de estudo (continuação)

Caso Nº33		
Componente/Equipamento	Perna de cadeira	
Material	Aço ao carbono	
Composição química	Não determinado	
Tempo de serviço	Aproximadamente 5 anos	
Características	Cadeira com quatro apoios com as seguintes dimensões: - Comprimento: 400 mm - Diâmetro exterior: 20 mm - Espessura: 1 mm	

3.6. Caracterização dos fenómenos verificados

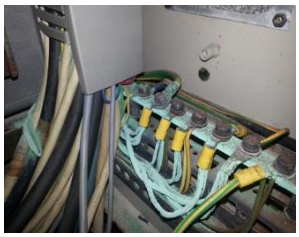
São inúmeros os estudos sobre a degradação de materiais tendo em conta o meio em que se encontram, no entanto, a necessidade de explorar factores de degradação mantém-se. Na tabela 11, serão apresentados os casos de degradação verificados nos diversos componentes/equipamentos das instalações municipais de Vale de Cambra, tendo como objectivo caracterizar cada problema verificado, tendo em conta os seguintes parâmetros:

- Produto (designação do componente/equipamento);
- Condições de serviço em que se encontra;
- Fenómenos observados;
- Possíveis causas.

Tabela 11 - Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo

Caso Nº1		
Componente/Equipamento	Parafusos da junta na tubagem de entrada de água do reservatório.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas, tendo ocasionalmente contado directo com solução de hipoclorito de sódio com diluição aproximada de 25%.	
Observações	Corrosão uniforme em estado avançado de degradação, sobre toda a superfície do material. Verifica-se igualmente inchamento do material com fissuras de dimensões elevadas	
Possíveis causas	Cloro e humidade formam ácido clorídrico, que originou corrosão. O aparecimento das fissuras favorece a estagnação de fluidos contendo cloro e impurezas, que fortalece o ataque	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº2		
Componente/Equipamento	Painel de suporte para analisadores de água.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas situado junto aos reservatórios de armazenamento de água, contendo um teor de cloro elevado.	
Observações	Corrosão localizada sob a forma de picadas distribuída por toda a superfície.	
Possíveis causas	Cloro e humidade formam ácido clorídrico, que originou a corrosão do componente metálico	
Caso Nº3		
Componente/Equipamento	Barramento e fios do quadro eléctrico principal.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas situado junto aos reservatórios de armazenamento de água, contendo um teor de cloro elevado.	
Observações:	Corrosão uniforme, apresentando uma coloração esverdeada em toda a superfície dos fios e do barramento	
Possíveis causas:	A temperatura elevada, juntamente com a presença de um elevado teor de hipoclorito de sódio forma óxido de cobre.	
Caso Nº4		
Componente/Equipamento	Válvula reguladora situada á saída da garrafa de cloro em gás.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas com contado directo com cloro em gás.	
Observações	Corrosão em toda a área da válvula, sem perfuração, com coloração verde, indicando um estado avançado de degradação. O material apresenta maior degradação na parte roscada e esfoliação em toda a superfície.	
Possíveis causas	Ácido formado devido à presença de humidade, dando origem a óxido de cobre de coloração esverdeada. Na parte roscada, a corrosão deve-se possivelmente à existência de fendas, criando diferença de oxigénio	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº5		
Componente/Equipamento	Cobertura do reservatório interno da E.T.A.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas situado junto aos reservatórios de armazenamento de água, contendo um teor de cloro elevado.	
Observações	Elevado estado de degradação, mais acentuado junto à tubagem metálica de amostragem de água. a tubagem apresenta permanentemente condensação. O material apresenta um elevado teor de humidade, visto que cobre o reservatório de água.	
Possíveis causas	Elevado teor de cloro causando desfibração. A degradação deve-se ao elevado teor de cloro presente, e é acelerado junto a tubagem de água devido a condensação exterior presente ao longo da mesma, que juntamente com o cloro, intensifica o ataque	
Caso Nº6		
Componente/Equipamento	Apoio do tubo de entrada de água do reservatório.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas a curta distância de um reservatório contento uma solução de hipoclorito de sódio com diluição aproximada de 25%.	
Observações	Corrosão uniforme em toda a superfície do material, apresentando maior degradação junto aos furos de aperto, apresentando esfoliação nesses locais	
Possíveis causas	A corrosão deve-se a presença de um ambiente húmido, juntamente com um elevado teor de cloro presente na atmosfera e na água. O elevado estado de degradação junto aos furos de aperto deve-se a presença de fendas, sendo uma zona que retém a humidade cria diferença de oxigénio.	

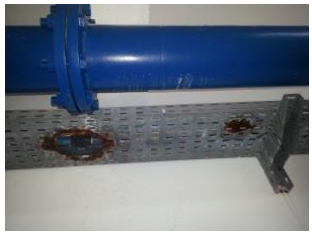
Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº7		
Componente/Equipamento	Aro de porta.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas a curta distância de um reservatório contento uma solução de hipoclorito de sódio com diluição aproximada de 20% tendo ocasionalmente contado directo com a mesma.	
Observações	Degradação da madeira em toda a área, mas com maior intensidade em locais perto do piso, devido a eventuais fugas de cloro do reservatório onde é efectuado a diluição de hipoclorito de sódio para o tratamento da água, contactando directamente com o material.	
Possíveis causas	Elevado teor de cloro causando desfibração. Visto que sempre que existe fugas de hipoclorito de sódio junto ao piso, este por sua vez contacta directamente com a madeira, aumenta a intensidade do ataque tendo em conta que a solução apresenta maior teor de cloro.	
Caso Nº8		
Componente/Equipamento	Chão de reservatório.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas a curta distância de um reservatório contento uma solução de hipoclorito de sódio com diluição aproximada de 25% tendo ocasionalmente contado directo com a mesma.	
Observações	Corrosão nas chapas de alumínio, presença de produto de corrosão de coloração branca, perfuração das chapas de alumínio e áreas predominantemente corroídas. O chão apresenta igualmente zonas constantemente cobertas de água.	
Possíveis causas	A água e o cloro encontrado na mesma, assim como na atmosfera impedem a formação de óxidos de alumínio, que tem como objectivo proteger o material. Forma-se então o cloreto de alumínio, produto de corrosão, sofrendo hidrólise que forma ácido clorídrico, accelerando o processo corrosivo.	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº9		
Componente/Equipamento	Protecção da ventilação de arrefecimento da electrobomba de elevação	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas a curta distância de um reservatório contento uma solução de hipoclorito de sódio com diluição aproximada de 25%.	
Observações	Corrosão uniforme, em locais de inexistência de pintura, expondo o material à atmosfera com menos protecção	
Possíveis causas	A corrosão deve-se a presença de um ambiente húmido, juntamente com um elevado teor de cloro presente na atmosfera. Na parte furada, o componente mostra maior degradação, tendo em conta que apresenta esquinas com ângulos de 90º, sendo zonas preferenciáveis de ataques corrosivos	
Caso Nº10		
Componente/Equipamento	Grelha de protecção das correias dos compressores de ar para lavagem dos filtros.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado.	
Observações	Locais do componente com descasca de tinta, diminuindo a protecção nesses locais, originando corrosão. O componente apresenta um aspecto frágil, muito produto de corrosão e desfaz-se com facilidade.	
Possíveis causas	Elevado teor de cloro, juntamente com humidade, forma ácido clorídrico que fragiliza o material. A formação de bolhas na pintura, cria igualmente ponto preferenciáveis de corrosão, originando diferença de oxigénio, propagando-se de seguida por toda a área do componente	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº11		
Componente/Equipamento	Suporte das bombas de pressurização interna da E.T.A.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado.	
Observações	Corrosão em estado avançado, com perfuração do material	
Possíveis causas	Acção conjunta de água clorada e elevada percentagem de humidade, formando ácido clorídrico que tem acção corrosiva sobre o aço ao carbono, originando produto de corrosão tornando o material muito frágil. O suporte está em contacto com outros matérias, podendo funcionar como ânodo, degradando consequentemente o material.	
Caso Nº12		
Componente/Equipamento	Abraçadeira metálica para suporte de tubo de aço-inoxidável.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas situado junto aos reservatórios de armazenamento de água, contendo um teor de cloro elevado.	
Observações	Estado avançado de degradação, com corrosão por esfoliação. Dimensões significativamente inferiores às do material novo.	
Possíveis causas	Corrosão galvânica ou bimetálica, devida ao contacto directo com o tubo de aço inoxidável 316L.	
Caso Nº13		
Componente/Equipamento	Guia para tubagens de água clorada.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas tendo raramente contado directo com água contendo um teor de cloro elevado (apenas em caso de rotura da tubagens).	
Observações	Corrosão em estado avançado, com perfuração do material	
Possíveis causas	Acção conjunta de água clorada, temperatura elevada e elevada percentagem de humidade, formando ácido clorídrico que tem acção corrosiva sobre o zinco do galvanizado e sobre o aço ao carbono, originando produto de corrosão tornando o material muito frágil	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº14		
Componente/Equipamento	Suporte de bomba de amostragem para analisadores de água.	
Condições de serviço	Tubo colocado praticamente na sua totalidade no interior do reservatório de armazenamento de água interno da E.T.A. contendo um elevado teor de cloro.	
Observações	Produto de corrosão à superfície do material assim como no interior de fendas, com o produto de corrosão a escorrer. Soldas com imperfeições provocadas durante a soldadura, apresentando fendas na junção.	
Possíveis causas	As imperfeiçoes no cordão de soldadura possibilitou a ocorrência de fendas, com a consequente corrosão por aeração diferencial. Cloro e humidade formam ácido clorídrico, que originou a corrosão à superfície do componente metálico	
Caso Nº15		
Componente/Equipamento	Tubagem de cloro gás.	
Condições de serviço	Contacto directo com cloro em gás no interior do tubo e parte exterior do tubo exposto a condições atmosféricas com elevado teor de cloro.	
Observações:	Corrosão em toda a área do tubo, sem perfuração, com coloração verde. O material apresenta maior degradação na parte roscada e no interior, junto a redução de secção.	
Possíveis causas	Ácido formado devido à presença de humidade e cloro, dando origem a óxido de cobre de coloração esverdeada. Na parte roscada, a corrosão deve-se possivelmente à existência de fendas, criando diferença de oxigénio. no interior do tubo, a degradação deve-se a diminuição brusca de secção, na qual o deslocamento do cloro em gás provoca degaste por arrasto de partículas	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº16		
Componente/Equipamento	Tubagem de cloro gás.	
Condições de serviço	Contacto directo com cloro em gás no interior do tubo e parte exterior do tubo exposto a condições atmosféricas com elevado teor de cloro.	
Observações	Degradação do tubo. Aparecimento de bolhas após pouco tempo de utilização, intensificando-se com o tempo. O material torna-se frágil	
Possíveis causas	Material apropriado para cloro em gás sem presença de humidade. A presença de humidade com o cloro forma ácido clorídrico, que danifica a estrutura do material	
Caso Nº17		
Componente/Equipamento	Escadas internas do reservatório.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado.	
Observações	Degradação sob forma de esfoliação	
Possíveis causas	Corrosão em fendas originando a esfoliação do material	
Caso Nº18		
Componente/Equipamento	Base de balança.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas situado junto aos reservatórios de armazenamento de água, contendo um teor de cloro elevado.	
Observações	Corrosão uniforme em estado avançado de degradação. Algumas zonas apresentam esfoliação	
Possíveis causas	Cloro e humidade formam ácido clorídrico, que originou a corrosão do componente metálico	
Caso Nº19		
Componente/Equipamento	Manómetro.	
Condições de serviço	Contacto directo com cloro em gás no interior do manómetro e parte exterior exposto a condições atmosféricas com elevado teor de cloro.	
Observações	Corrosão uniforme em estado avançado de degradação.	
Possíveis causas	Cloro e humidade formam ácido clorídrico, que originou a corrosão do componente metálico	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº20		
Componente/Equipamento	Junta de vedação	
Condições de serviço	Exposto a um ambiente muito húmido e em contacto parcial com água contendo um teor de cloro elevado, superior a 1,0 ppm.	
Observações	Elevado estado de degradação, material frágil e as superfícies interiores e exteriores apresentam fendas e perda de material	
Possíveis causas	Junta colocada entre a bomba e a tubagem com redução de secção, provocando degradação por erosão no interior da mesma. O cloro danifica a estrutura do material, promovendo a fragilidade do mesmo	
Caso Nº21		
Componente/Equipamento	Suporte de válvulas reguladoras de cloro gás.	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas com elevado teor de cloro.	
Observações	Cloro e humidade formam ácido clorídrico, que originou a corrosão do componente metálico. Apresenta maior degradação junto à estrutura e à furação	
Possíveis causas	Cloro e humidade formam ácido clorídrico, que originou a corrosão do componente metálico. O facto de apresentar maior degradação junto à estrutura e furação deve-se a presença de pequenos espaços que servem de fendas, onde existe menor quantidade de oxigénio, provocando corrosão por aeração-diferencial.	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº22		
Componente/Equipamento	Abraçadeira metálica	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado. Neste local a temperatura é normalmente mais elevado que a temperatura ambiente.	
Observações	Estado avançado de degradação, apresentando rotura, com corrosão por esfoliação. Dimensões significativamente inferiores às do material novo	
Possíveis causas	Cloro e humidade formam ácido clorídrico. A tubagem em PVC apresenta elevada condensação, que originou a corrosão do componente metálico. A junção entre o material polimérico e a abraçadeira serviu de fenda, acelerando o processo corrosivo devido a diferença de oxigénio	
Caso Nº23		
Componente/Equipamento	Perna de secretária	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado tendo ocasionalmente contacto directo com cloro liquido. Neste local a temperatura é normalmente mais elevado que a temperatura ambiente.	
Observações	Degradação do material metálico em toda a área, mas com maior intensidade em locais perto do piso, devido a eventuais fugas de cloro da zona de armazenamento de hipoclorito de sódio para o tratamento da água, contactando directamente com o material. Zonas com pintura descascada, apresentando maior degradação	
Possíveis causas	Elevado teor de cloro, juntamente com humidade, forma ácido clorídrico que fragiliza o material. A formação de bolhas na pintura, cria igualmente ponto preferenciáveis de corrosão, originando diferença de oxigénio, propagando-se de seguida por toda a área do componente. Tendo em conta que a parte inferior da secretaria se encontra em contacto directo com hipoclorito de sódio, o ataque é maior visto que o teor de cloro é mais elevado	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº24		
Componente/Equipamento	Suporte de tubagem e equipamento eléctrico	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado. Neste local a temperatura é normalmente mais elevado que a temperatura ambiente.	
Observações	Produto de corrosão à superfície do material assim como no interior de fendas, com o produto de corrosão a escorrer. Soldas com imperfeições provocadas durante a soldadura, apresentando fendas na junção.	
Possíveis causas	As imperfeiçoes no cordão de soldadura possibilitou a ocorrência de fendas, com a consequente corrosão por aeração diferencial. Cloro e humidade formam ácido clorídrico, que originou a corrosão à superfície do componente metálico. A forma do perfil em L não será a mais adequada, visto existir locais preferenciáveis de corrosão como o interior das dobras, por exemplo, onde pode mesmo acumular impurezas, favorecendo o ataque	

Caso Nº25		
Componente/Equipamento	Electrobomba submersível	
Condições de serviço	Contado directo com água contendo um teor de cloro elevado.	
Observações:	O interior da carcaça da electrobomba apresenta áreas de degradação semelhante a picadas, principalmente junto a curva se saída da bomba, contudo, não apresente produto de corrosão. Algumas áreas da carcaça da bomba apresentavam um revestimento castanho-esverdeado. No entanto, após ser retirado esse revestimento, não foram observados sinais de corrosão	
Possíveis causas:	Degradação devida à corrosão-erosão, tendo em conta que existe fluido em movimento com redução de secção de escoamento, assim como a existência de bolhas de ar durante o seu funcionamento	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº26		
Componente/Equipamento:	aro de manómetro de pressão dos filtros	
Condições de serviço:	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado. Neste local a temperatura é normalmente mais elevado que a temperatura ambiente.	
Observações:	Processo corrosivo à superfície do aro assim como no interior de fendas assim, com o produto de corrosão a escorrer pela superfície pintada em bom estado	
Possíveis causas:	Ausência de vedação nas fendas e humidade relativa elevada, originando consequentemente corrosão em fendas ou por aeração diferencial	
Caso Nº27		
Componente/Equipamento	Torneira para amostras de água do filtro	
Condições de serviço:	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado. Neste local a temperatura é normalmente mais elevado que a temperatura ambiente.	
Observações:	Corrosão uniforme, sem perfuração apresentando uma coloração esverdeada em toda a superfície do componente	
Possíveis causas:	A elevada humidade, juntamente com a presença de um elevado teor de cloro forma óxido de cobre.	
Caso Nº28		
Componente/Equipamento	Junção de válvula e tubagem	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado. Raramente tem contado directo com água clorada elevado (apenas em caso de rotura da tubagens). Neste local a temperatura é normalmente mais elevado que a temperatura ambiente.	
Observações	O material apresenta maior degradação na parte roscada e no seu interior, junto a redução de secção do tubo de ligação. Escorrimento de produto de corrosão ao longo da redução do tubo	
Possíveis causas	presença de humidade e cloro, dando origem a acido cloridrico. Na parte roscada, a corrosão deve-se à existência de fendas, criando diferença de oxigénio. no interior do tubo, a degradação deve-se a diminuição de secção, provocando corrosão-erosão	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº29		
Componente/Equipamento	Parafuso para aperto de válvula	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado. Raramente tem contado directo com água clorada elevado (apenas em caso de rotura da tubagens). Neste local a temperatura é normalmente mais elevado que a temperatura ambiente.	
Observações	Corrosão uniforme em estado avançado de degradação, sobre toda a superfície do material. Verifica-se igualmente esfoliação do material	
Possíveis causas	Cloro e humidade formam ácido clorídrico, que originou a corrosão do componente metálico. A esfoliação do material favores o ataque corrosivo, pois faz o papel de uma fenda	

Caso Nº30		
Componente/Equipamento	Porta de quadro eléctrico	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado. Neste local a temperatura é normalmente mais elevado que a temperatura ambiente.	
Observações:	Degradação do material metálico em Zonas com pintura descascada. A pintura apresenta bolhas e o material apresenta corrosão uniforme com maior intensidade junto aos cantos do equipamento	
Possíveis causas	Cloro e humidade formam ácido clorídrico, que originou a corrosão do componente metálico. A esfoliação da pintura faz o papel de uma fenda, retendo a humidade e diminuindo o oxigénio. os cantos não arredondados são igualmente pontos preferenciáveis para um ataque corrosivo	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº31		
Componente/Equipamento	Suporte para tubagem de PVC	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado. Neste local a temperatura é normalmente mais elevado que a temperatura ambiente.	
Observações	Estado de degradação superficial, com corrosão uniforme e presença de fendas no cordão de soldadura.	
Possíveis causas	Cloro e humidade formam ácido clorídrico. A tubagem em PVC apresenta elevada condensação, que originou a corrosão do componente metálico. A junção entre o material polimérico e a abraçadeira serviu de fenda, acelerando o processo corrosivo devido a diferença de oxigénio. As imperfeiçoes no cordão de soldadura possibilitou a ocorrência de fendas, com a consequente corrosão por aeração diferencial. A forma do perfil em U não será a mais adequada, visto existir locais preferenciáveis de corrosão como o interior das dobras, por exemplo, onde pode mesmo acumular impurezas, favorecendo o ataque	

Caso Nº32		
Componente/Equipamento	Contador de água	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado. Neste local a temperatura é normalmente mais elevado que a temperatura ambiente.	
Observações:	Corrosão uniforme em estado avançado de degradação, sobre toda a superfície do material. Verifica-se igualmente esfoliação do material	
Possíveis causas	Acção conjunta de água clorada e elevada percentagem de humidade, formando ácido clorídrico que tem acção corrosiva sobre o aço ao carbono, originando produto de corrosão tornando o material muito frágil. O suporte está em contacto com outros matérias, podendo funcionar como ânodo, degradando consequentemente o material. Juntos aos furos, criam-se fendas que favorecem a corrosão por aeração diferencial	

Caracterização dos fenómenos verificados nos casos de estudo (continuação)

Caso Nº33		
Componente/Equipamento	Perna de cadeira	
Condições de serviço	Exposto a condições atmosféricas em ambiente húmido contendo um teor de cloro elevado. Neste local a temperatura é normalmente mais elevado que a temperatura ambiente.	
Observações	Degradação do material metálico em toda a área, mas com maior intensidade em locais perto do piso, devido a eventuais fugas de cloro da zona de armazenamento de hipoclorito de sódio para o tratamento da água, contactando directamente com o material.	
Possíveis causas	Elevado teor de cloro, juntamente com humidade, forma ácido clorídrico que fragiliza o material. Tendo em conta que a parte inferior da secretaria se encontra em contacto directo com hipoclorito de sódio, o ataque é maior visto que o teor de cloro é mais elevado. A cadeira não apresenta qualquer protecção, expondo o material a qualquer ataque corrosivo	

3.7. Selecção de novos materiais

Este estudo irá reflectir-se principalmente nos diversos tipos de tubagens e acessórios, que se encontram em contacto com água clorada. Neste tipo de componente, podemos encontrar materiais de diversos tipos, como por exemplo:

- Aço inoxidável;
- Cobre;
- Polímeros,
- Ferro;
- Latão;
- Etc.

Neste momento, existem na E.T.A e piscinas referentes a este estudo, tubagens de diversos tipos de materiais. Algumas fazem parte da instalação, e foram projectadas em aço inoxidável para transporte de água clorada (fig. 76).

A B C

Figura 76 - Componentes em aço inoxidável: Suporte de bomba de amostragem para analisadores de água (A), Painel de suporte para analisadores de água (B) e Tubagem do sistema de amostragem (C)

Outras, foram colocadas pelos operadores, a fim de melhorar a qualidade do tratamento da água, como por exemplo, a tubagem apresentada na figura 77, sendo composta por um material polimérico, que liga uma bomba doseadora de hipoclorito de sódio a uma válvula de retenção.

A B C

Figura 77 - Componentes poliméricos: bomba doseadora de NaClO (A), união e tubagem (B) e cotovelo de ligação (C)

Existem também tubagens para transporte de cloro em gás, constituídas por cobre, liga de cobre ou em material polimérico, como podemos observar na figura 78.

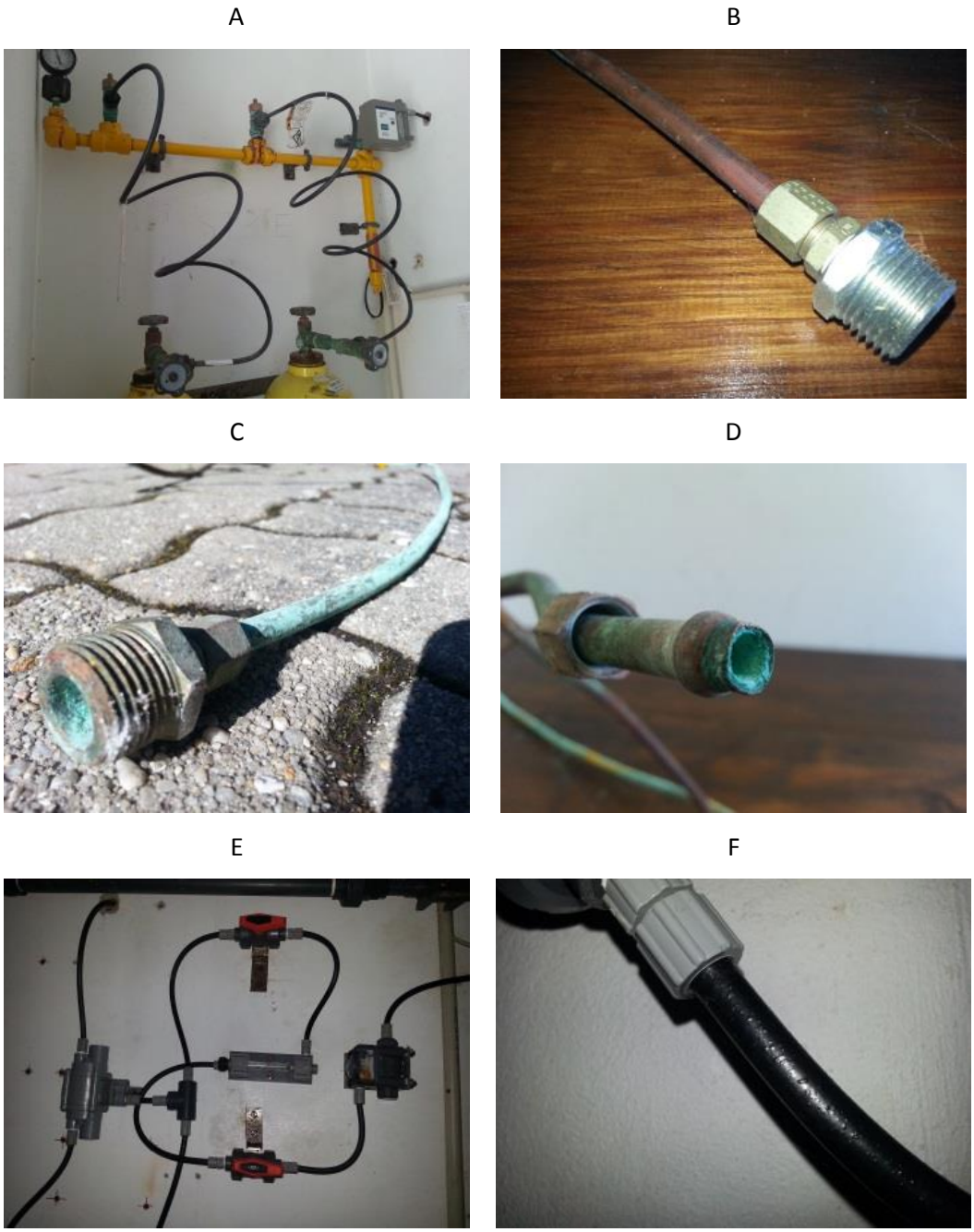


Figura 78 - Tubagens em cobre (A, B, C e D) e tubagens poliméricas (E e F) para cloro em gás: tubagem de ligação dos reservatórios de cloro em gás até a rede de injecção (A), aspecto da tubagem de ligação nova (B) e degradada (C), aspecto do interior da tubagem de ligação (D), rede de distribuição de cloro em gás (E) e tubagem e acessório polimérico da rede de distribuição (F)

Certos acessórios, para ligação ou suporte destas tubagens, são em materiais poliméricos, latão, madeira ou aço inoxidável.

Importa referir que todas estas ligações, sejam tubagens ou acessórios, são neste momento constituídos por materiais diferentes, mas podem ser alterados para um único material mais

adequado, visto que são instalações definitivas, não sendo necessários removê-las permanentemente. O fim a que se destinam todas estas tubagens, é o transporte de cloro para o tratamento de água, podendo ser em maior ou menor concentração. Todas estas tubagens sofrem uma forte degradação neste momento. O modo de utilização e os requisitos para qual se destinam, são também eles semelhantes. A tabela 12 será preenchida, tendo em conta estes factos.

Tabela 12 - Utilização e requisitos dos materiais

Nº REQ.	REQUISITOS	JUSTIFICAÇÂO
R1	Ter elevada resistência a corrosão	Minimizar a degradação do material, evitando desta forma uma possível contaminação da água e possíveis complicações de funcionamento dos equipamentos.
R2	Ter um custo mais baixo possível quanto ao custo do material	É sempre um parâmetro muito importante a ter em conta sendo muitas vezes decisivo para aquisição de materiais.
R3	Ter um custo mais baixo possível quanto ao processo de fabrico	É sempre um parâmetro muito importante a ter em conta sendo muitas vezes decisivo para aquisição de materiais.
R4	Boa resistência ao desgaste	É importante na medida em que muitas impurezas circulam no interior das tubagens por exemplo, originando ataques corrosivos devido ao desgaste do material por abrasão.

Utilização e requisitos dos materiais (continuação)

R5	Ser resistente ao impacto	É importante ter alguma resistência ao impacto de forma a minimizar danos, visto haver equipamentos situados em zonas de possíveis choques com outros materiais.
R6	Ser dúctil	É necessário ser um material maleável, de forma a poder ser trabalhado para certas aplicações.
R7	Peso (ser leve)	Mesmo não sendo um ponto principal, convém ser um material mais leve possível devido ao transporte e manipulação do material em certas situações.
R8	Média resistência mecânica	É importante devido às condições em que o material se vai encontrar em certas situações, evitando assim a sua destruição.
R9	Ter rigidez	Tem de ter alguma rigidez (baixa) de forma a não flectir/dobrar quando estiver sujeito a forças exteriores.

Propriedades relacionadas com os requisitos exigidos.

Tabela 13 - Requisitos e propriedades requeridas dos materiais

Nº REQ.	REQUISITOS	PROPRIEDADES REQUIRIDAS
R1	Ter elevada resistência a corrosão	Alta resistência a corrosão
R2	Ter um custo de material mais baixo possível	Baixo custo do material
R3	Ter um custo de processo de fabrico mais baixo possível	Baixo custo do processo de fabrico
R4	Boa resistência ao desgaste	Dureza media
R5	Ser resistente ao impacto	Alta resiliência
R6	Ser dúctil	Alto alongamento apos rotura
R7	Peso (ser leve)	Média densidade
R8	Média resistência mecânica	Tensão de rotura média
R9	Alguma rigidez	Médio módulo de elasticidade

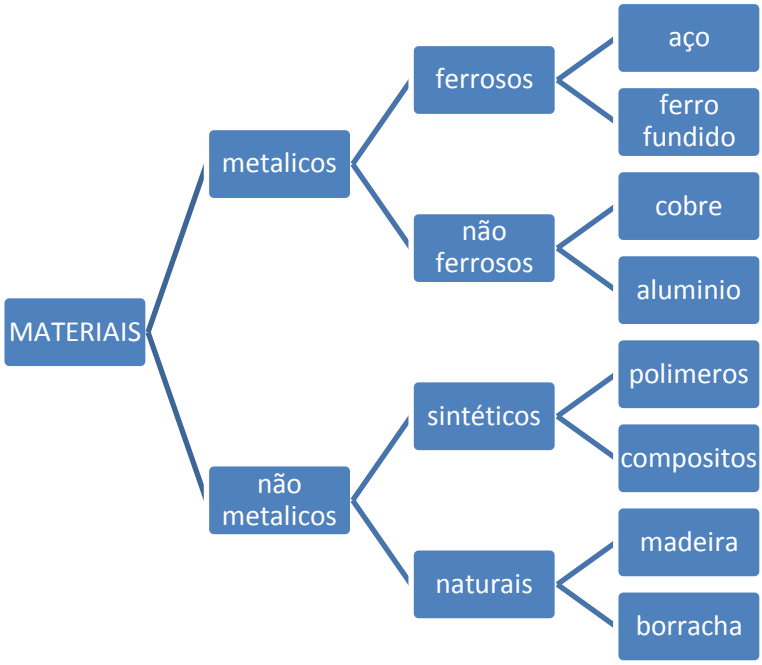
Nesta próxima etapa, cada requisito será avaliado individualmente, atribuindo-lhe um valor de uma escala com valores entre 1 e 5, mediante a sua importância para a selecção do material mais adequado para ser utilizado em contacto com água para consumo humano.

Avaliação das propriedades requeridas

Tabela 14 - Avaliação das propriedades requeridas

Nº PROPRIEDADE	AVALIAÇÃO (1 – 5)	CLASSIFICAÇÃO	PROPRIEDADES REQUIRIDAS
P1	5	Elevada	Resistência a corrosão
P2	3	Baixo	Custo
P3	3	Baixo	Custo
P4	2	Media	Dureza
P5	3	Alta	Resiliência
P6	4	Alto	Alongamento apos rotura
P7	2	Média	Densidade
P8	3	Média	Tensão de rotura
P9	3	Médio	Módulo de elasticidade

Materiais candidatos



Classes de materiais

Cerâmicos e vidros

Cerâmicos e vidros, são materiais frágeis quando comparados aos metais. A sua resposta à tensão, torção e resistência à ruptura é bastante frágil. A cerâmica não apresenta ductilidade, baixa tolerância à concentração de tensão, como furos ou rachaduras, ou para tensões de contacto em pontos de fixação, por exemplo. Materiais dúcteis podem receber as concentrações de tensão através da deformação, redistribuindo a carga de forma mais uniforme, podendo por isso, serem utilizados sob carga estática dentro de uma pequena margem da sua força de rendimento, razão pela qual os cerâmicos e vidros não podem. No entanto, cerâmicas e vidros possuem propriedades muito atractivas. Estes materiais são duros, resistentes a abrasão, apresentam uma boa resposta a altas temperaturas, e possuem uma boa resistência á corrosão. Estes materiais devem ser considerados com uma classe importante de materiais de engenharia.

Polímeros e elastómeros

Quando as propriedades dos polímeros são combinadas, conseguimos obter materiais com características tao boas como a dos metais, como no caso da dureza, com a vantagem de serem mais leves. Estes materiais são fáceis de moldar, podendo por isso apresentar formas complexas facilmente quando comparado com os metais. A sua deformação elástica permite a concepção de componentes plásticos que se encaixam, permitindo assim um processo de montagem fácil e barato. Estes materiais apresentam também uma boa textura, coloração, alto grau de tolerância e precisão, etc. Os polímeros são igualmente resistentes à corrosão, apresentando um baixo coeficiente de atrito.

Compósitos

Os compósitos combinam as propriedades mais atractivas, podendo ser leves, rígidos e resistentes em certos parâmetros, o que pode ser difícil encontrar numa categoria isolada de materiais. Contudo, estes materiais apresentam inconvenientes, sendo bastante caros, difíceis de formar, são frágeis, não tem muito boa resistência a corrosão, existindo a possibilidade da separação da matriz e dos reforços, assim como a possível contaminação da água, devido às resinas e fibras colocadas no compósito. Este caso refere-se essencialmente a PRFV.

Metais

Este material pode ser formado por uma liga através de processos mecânicos, ligas fortes por tratamento térmico, contudo, permanecendo dúctil, o que lhes permite ser formados por processos de deformação, como por conformação, maquinagem, etc… algumas ligas de alta resistência apresentam uma baixa ductilidade, no entanto, é suficiente para garantir bons resultados quanto à fractura e à deformação. A ductilidade, de certo modo, é uma das principais causas por tornarem os metais mais sujeitos à fadiga. Dependendo do tipo de metal, podem apresentar bons resultados no que diz respeito á resistência à corrosão.

Madeira

De uma forma geral, a utilização deste tipo de material sempre foi muito questionado, no que diz respeito principalmente à sua durabilidade. Com o avanço tecnológico, e devido a muita investigação, surgiram substâncias químicas capazes de fazer aumentar o tempo de vida útil da madeira, fazendo, desta forma, aumentar a sua segurança, qualidade, diminuir custos devido a possíveis reconstruções, assim como o aumento da sua versatilidade. No entanto, algumas qualidades são atribuídas à madeira, aumentando a qualidade se a madeira for tratada. Entre outras, pode-se destacar certas qualidades da madeira, como a resistência à lavagem, não

altera a condutibilidade eléctrica, o seu tratamento não contribui para a corrosão dos metais, de fácil utilização, etc. nos dias de hoje, verifica-se tratamentos que aumentam a resistência a certas agressões, como os ataques químicos, variações higrométricas, solicitações mecânicas, etc. no entanto, estes tratamento encarecem o material, não apresentando certezas de atingir as propriedades mostradas pelos metais e pelos polímeros.

Materiais eleitos para a selecção final

Visto que este estudo incide sobre o estudo de materiais para contacto com água para consumo humano, temos que ter em conta, uma selecção de matérias que não irão prejudicar a qualidade da água, não pondo consequentemente em risco a saúde pública, nem dificultado o trabalho dos funcionários devido a danos excessivos causados no material. a madeira será utilizada de forma a observar o seu comportamento, comparando posteriormente com os restantes tipos de materiais. Atendendo a estes requisitos, a selecção de materiais será principalmente constituído pelos seguintes materiais:

- Metais;
- Polímeros;
- Madeira.

Tendo em conta os requisitos já referidos anteriormente, e existindo uma enorme gama de materiais, foram seleccionados os seguintes para a selecção de um material final:

- Aço inoxidável AISI 316L;
- Aço inoxidável AISI 321;
- Duplex UNS S2205 (EN 14462);
- Polivinilo de cloreto (PVC rígido);
- Polietileno de alta densidade (PEAD);
- Polipropileno (PP);
- Madeira (Faia);
- Madeira (Carvalho).

Aço inoxidável 316/316L

Os aços inoxidáveis do tipo 316/316L, são aços austeníticos que são diferenciados dos aços inoxidáveis 304/304L, devido a conterem Molibdénio (2% - 3%), assim como um maior teor de níquel. O resultado desta composição confere lhe uma maior resistência à corrosão numa maior diversidade de meios corrosivos, e uma maior resistência de corrosão por picadas, sendo uma das principais causas de degradação dos aços inoxidáveis. O molibdénio oferece uma maior resistência quando se encontra em contacto agentes agressivos como cloro, ambientes marítimos, ácido sulfúrico, fosfóricos e acéticos. Este material possui excelentes propriedades mecânicas.

Aço inoxidável 321

O Aço Inox 321 é um aço inoxidável austenítico estabilizado com titânio, atribuindo-lhe assim uma excelente resistência à corrosão, sendo uma característica que diminui os riscos para a precipitação de carbonetos durante o aquecimento entre 427°C a 816°C. Os aços similares sem adição de titânio, como o aço inox 304, têm um limite de temperatura até 426°C, dependendo da aplicação, e estão mais susceptíveis a precipitação de carbonetos. A vantagem do aço inox 321 é sua boa resistência mecânica em altas temperaturas.

Existe um número que correlaciona a composição química de um aço inoxidável com o potencial de picadas, medido em soluções contendo cloretos denominado por PREN (Pitting Resistance Equivalent Number). Este número é baseado numa equação matemática empírica, que gera uma recta no gráfico “Potencial de Picada x PREN”. Quanto maior for o valor do PREN, maior será a sua resistência em meios contendo cloretos.

Duplex 14462 (UNS S2205)

Este material pertence a uma classe de aços inoxidáveis com uma microestrutura diferente dos aços inoxidáveis 316L e 321, proporcionando-lhe uma estrutura austenítica e ferrítica. Esta microestrutura garante lhe maior resistência à corrosão sob tensão quando comparado com o AISI 304 e o AISI 316. Um teor superior de crómio, molibdénio e nitrogénio contidos no Duplex 14462 (UNS S2205) oferecem lhe uma melhoria significativa de resistência à corrosão por picadas e por fendas, na presença de cloretos. Podemos concluir que este material possui uma melhor resistência à corrosão, quando comparados com o AISI 316 em meios contendo valores de pH altos, e na presença de cloretos. Este material transita de dúctil para frágil quando se encontra em baixas temperaturas.

Nos gráficos 79 e 80, podemos visualizar a comparação do aço inoxidável AISI 304L, AISI 316L e duplex 14462 (UNS S2205), quanto à corrosão sob tensão e a corrosão por picada, em função do teor de cloro.

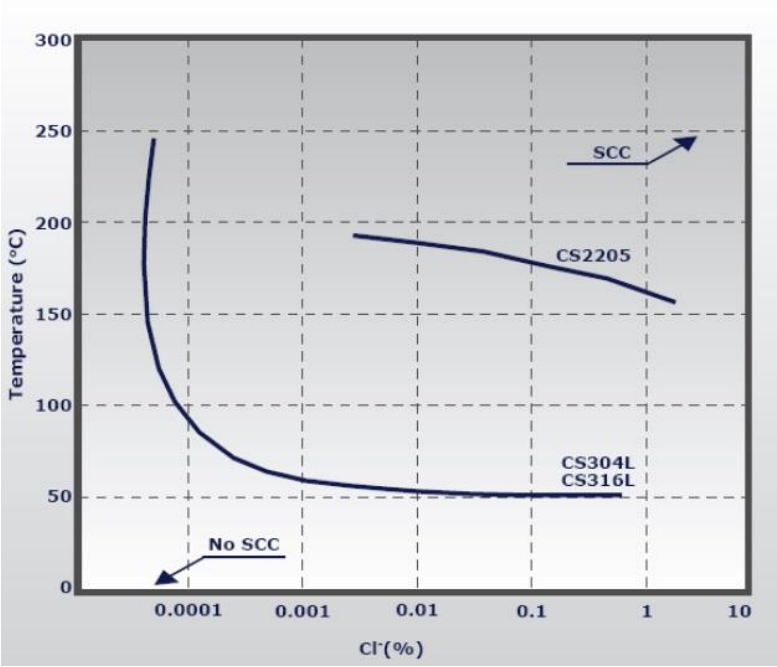


Figura 79 - Gráfico de corrosão sob tensão dos aços inoxidáveis 304L, 316L e duplex 14462

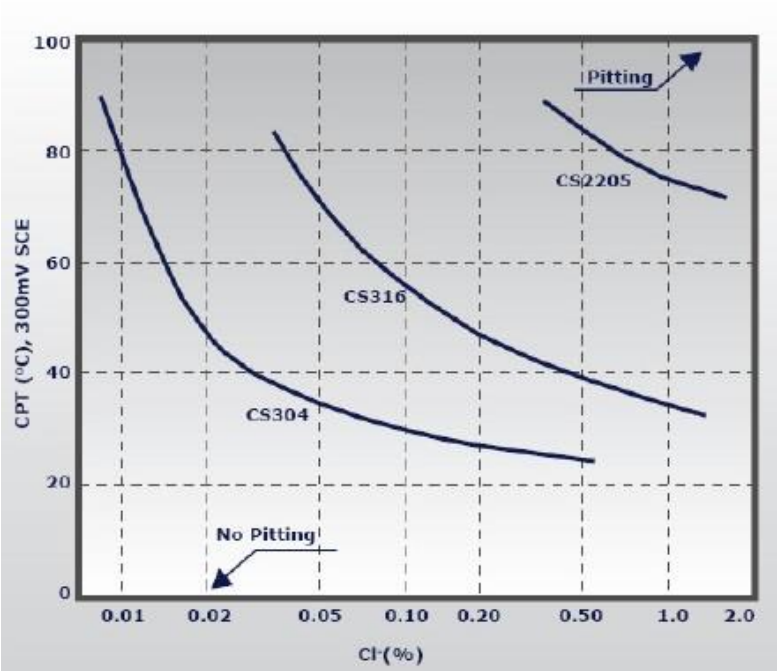


Figura 80 - Gráfico de corrosão por picada dos aços inoxidáveis 304L, 316L e duplex 14462

PVC RÍGIDO

O PVC rígido, abreviatura de PoliVinilo de Cloreto, possui alta resistência a choques e quedas, e baixa sensibilidade à fissuração sob tensão. Este material tem uma elevada rigidez quando comparado com outros termoplásticos, boa resistência química, boas propriedades de ligação adesivas, pode ser formado por vácuo, soldado e Termo formado, sendo importante para o caso de roturas em tubagens. Possui também uma boa estabilidade dimensional, e é de fácil processamento.

Existem diversos aditivos que podem ser utilizados na preparação de um composto, tais como: estabilizantes, lubrificantes (internos e externos), plastificantes, auxiliares de processamento, cargas, pigmentos e outras substâncias, com finalidades específicas, como os agentes de expansão e os antiestéticos. Devido às diversas possibilidades existentes de variação das propriedades do PVC, através das suas diferentes formulações, não é possível indicar um composto que seja típico ou característico. Isto porque todos são constituídos de diferentes substâncias auxiliares, que não só possibilitem um processamento satisfatório, como também visem a atender as especificações físico-químicas do produto final.

O termo degradação é utilizado quando ocorre a liberação de HCl, acompanhado pelo desenvolvimento de cor, que evolui desde o laranja claro até o preto. A cor caracteriza uma modificação estrutural da cadeia polimérica, e ocorre através da formação de uma estrutura poliênica (duplas ligações entre carbonos de uma molécula). Após ser ultrapassado o limite de temperatura para a sua transformação, a molécula entra em decomposição produzindo uma fumaça rica em gás clorídrico (HCl), e monóxido de carbono (CO). Não só o processo de transformação pode decompor a cadeia polimérica do PVC, mas também a radiação ultravioleta proveniente dos raios solares, cujo mecanismo de foto-decomposição é análogo ao da degradação térmica.

Componentes	Quantidade (pcr*)
PVC	100
Estabilizantes	0,4 - 3
Modificador de impacto	0 - 15
Auxiliar de processo	0 à 3

Figura 81 – Tabela representativa de aditivos de um PVC rígido

Para se evitar a degradação e a deterioração do PVC por erosão superficial, na forma de perda de transparência, fracturas e enrugamento, adicionam-se substâncias conhecidas como estabilizantes. A função principal do estabilizante, é de reduzir ou bloquear estruturas de cadeias instáveis, e tornar lenta a velocidade de todos os processos de decomposição iniciados durante o processamento ou uso do produto.

Desta forma, o estabilizante é um aditivo fundamental a ser incorporado a qualquer formulação de PVC, seja ela rígida, flexível ou plástica.

Também podem ser adicionados modificadores de impacto, que constituem uma classe de aditivos com o objectivo de aumentar a resistência ao impacto do PVC rígido. Este tipo de adição pode conferir excelentes propriedades para determinadas aplicações, pois um componente pode compensar as propriedades deficientes do outro. Os mais utilizados incluem-se entre os polímeros ou copolímeros elastoméricos do tipo:

- Acrilonitrila/butadieno/estireno (ABS);
- Metacrilato de metila/butadieno/estireno (MBS);
- Etileno/acetato de vinila (EVA);
- Polietileno clorado (CPE).

PEAD

O PEAD, abreviatura de Polietileno De Alta Densidade, tem como principal característica a "atoxidade", assim como um baixo coeficiente de atrito. Esta primeira característica permite o contacto de alimentos e água para consumo humano, diminuído o risco de contaminação. Para além destas características já referenciadas, o PEAD é um material rígido, mas leve, de fácil processamento e de baixo custo, apresentando excelente resistência química, boa resistência a abrasão e a impactos.

PP

O PP, abreviatura de PoliPropileno, resulta de uma resina termoplástica produzida através do gaz propileno, sendo este um subproduto da refinação do petróleo. Este produto é utilizado em casos onde é necessário uma resistência química mais elevada. Apresenta igualmente a excelente característica de poder ser "soldado", sendo uma característica importante no caso de tubagens, sendo possível diminuir os danos em caso de rotura. Este material pode também ser produzido a partir de compostos reforçados, ou sem reforços. Na sua generalidade, o

polipropileno apresenta uma boa resistência a produtos químicos, boa resistência ao impacto, é soldável e moldável, “atoxico”, tornando o um bom material para o contacto com alimentos e água para consumo humano. Como já foi referido no caso do PEAD, o PP é facilmente maquinavel e possui uma boa resistência ao atrito regular.

Madeira

A madeira de Faia e de Carvalho caracterizam-se pela sua alta densidade e durabilidade, assim como pelas suas boas propriedades mecânicas. Estas madeiras são consideradas de difícil secagem e serragem, mas fácil de trabalhar nos acabamentos, como lixagem e envernizamento, de modo a proteger o máximo possível este material contra ataques externos como agentes químicos.

Propriedades dos materiais seleccionados (valores médios)

Tabela 15 - Propriedades dos materiais requeridos

N.º	MATERIAL	VALORES DAS PROPRIEDADES PRINCIPAIS
MT1	AÇO INOXIDÁVEL AISI 316L	Densidade (Density): 8,0 g/cm^3 Tensão de rotura média (tensile Strenght): 550 MPa Alongamento após rotura (Alongation): 45 % Dureza (Hardness): 140 HB Módulo de Elasticidade (Modulus of Elasticity): 193 GPa
MT2	AÇO INOXIDÁVEL AISI 321	Densidade (Density): 7,9 g/cm^3 Tensão de rotura média (tensile Strenght): 585MPa Alongamento após rotura (Alongation):55 % Dureza (Hardness): 150 HB Módulo de Elasticidade (Modulus of Elasticity): 193 GPa
MT3	DUPLEX 2205	Densidade (Density): 7,9 g/cm^3 Tensão de rotura (tensile Strenght): 760MPa Alongamento após rotura (Alongation):30 % Dureza (Hardness): 270 HBN Módulo de Elasticidade (Modulus of Elasticity): 193 GPa

Propriedades dos materiais requeridos (continuação)

MT4	PVC RÍGIDO	Densidade (Density): 1,44 g/ cm^3 Tensão de rotura (tensile Strenght): 58 MPa Alongamento após rotura (Alongation): 4 % Dureza (Hardness): R 93 Módulo de Elasticidade (Modulus of Elasticity): 3,3 GPa
MT5	PEAD	Densidade (Density): 0,95 g/ cm^3 Tensão de rotura (tensile Strenght): 28 MPa Alongamento após rotura (Alongation): 8 % Dureza (Hardness): R 65 Módulo de Elasticidade (Modulus of Elasticity): 1,1 GPa
MT6	PP	Densidade (Density): 0,91 g/ cm^3 Tensão de rotura (tensile Strenght): 33 MPa Alongamento após rotura (Alongation): 8 % Dureza (Hardness): R 86 Módulo de Elasticidade (Modulus of Elasticity): 1,7 GPa
MT7	Faia (base 12% de humidade)	Densidade (Density): 0,71 g/ cm^3 Tensão de rotura transversal (tensile Strenght): 4.4 MPa Dureza de monnin (Hardness): 4,2
MT8	Carvalho (base 12% de humidade)	Densidade (Density): 0,675 g/ cm^3 Tensão de rotura transversal (tensile Strenght): 4.5 MPa Dureza de monnin (Hardness): 4,2

Avaliação do material seleccionado

Tabela 16 - Avaliação dos materiais em função das propriedades

ATRIBUTOS DE CADA MATERIAL EM FUNÇÃO DE CADA PROPRIEDADE (1-10)								
Propriedades/materiais	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8
P1	8	8	10	10	10	10	4	4
P2	8	6	8	10	10	10	8	8
P3	6	6	6	8	8	8	10	10
P4	8	8	8	6	6	6	4	4

Avaliação dos materiais em função das propriedades (continuação)

P5	10	10	10	2	6	4	5	5
P6	7	7	6	7	10	5	2	2
P7	6	6	6	10	10	10	8	8
P8	8	8	7	4	4	4	4	4
P9	8	8	7	4	4	4	2	2

Resultados finais para selecção do material mais adequado

Tabela 17 - Selecção do material mais adequado

TABELA DE SELECÇÃO DO MATERIAL MAIS ADEQUADO																			
MT	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7		P8		P9		Σ
MT1	8	5	8	3	6	3	8	2	10	3	7	4	6	2	8	3	8	3	**216**
MT2	8		6		6		8		10		7		6		8		8		**210**
MT3	10		8		6		8		10		7		6		7		8		**223**
MT4	10		10		8		6		2		7		10		4		4		**194**
MT5	10		10		8		6		6		10		10		4		4		**218**
MT6	10		10		8		6		4		5		10		4		4		**192**
MT7	4		8		10		4		5		2		8		4		2		**139**
MT8	4		8		10		4		5		2		8		4		2		**139**

Nestes resultados obtidos, podemos verificar que os materiais metálicos e os materiais poliméricos apresentam resultados finais próximos. No entanto, os materiais metálicos mostram-se com melhores resultados. A madeira apresenta-se com valores significativamente inferiores, sendo imediatamente excluídas desta selecção, como seria de esperar. Contudo, numa abordagem prática posterior, irão ser efectuados ensaios, a fim de comprovar esta análise teórica, e se proceder a um estudo mais pormenorizado da selecção do material final.

3.8. Estudo e implementação de testes comparativos de corrosão acelerada

Os estudos teóricos e experimentais realizados nesta tese, tiveram como objectivo procurar entender a forma de degradação dos materiais que contactam directamente com cloro ou derivados do cloro, focando-se principalmente na E.T.A. e nas piscinas municipais de Vale de Cambra, visto que muitos materiais constituem perigos, pelos elementos e compostos que os constituem.

Este estudo experimental é realizado através de ensaio por imersão em solução estagnada, visto ser um método simples e eficaz de testes de corrosão. Geralmente, é neste tipo de ensaio que se consegue um maior grau de corrosão, num curto período de tempo, podendo este último ser variável com o tipo de material e o tipo de solução utilizado. Este tipo de ensaio é muito utilizado quando se necessita de respostas rápidas. Como qualquer outro tipo de ensaio acelerado de corrosão, o ideal passa sempre por avaliar as amostras através de comparação, a fim de se obter melhores interpretações de resultados.

Para uma boa orientação de ensaios para avaliação da corrosão, é necessário ter em conta algumas etapas e cuidados, de modo a evitar qualquer problema que possa prejudicar os resultados obtidos. Tendo em conta este facto, o ensaio irá seguir as seguintes fases:

- Preparação das amostras antes da imersão;
- Preparação dos parâmetros de ensaio e exposição das amostras;
- Duração do ensaio;
- Limpeza das amostras antes e após o ensaio;
- Medições e avaliações.

Para preparar as amostras, é necessário ter um certo cuidado ao corta-las, de forma a manter sempre as mesmas dimensões, independentemente do tipo de material utilizado, assim como ter o cuidado de arredondar as quinas existentes, para estas não apresentarem pontos preferenciáveis de corrosão. Durante esta preparação, é importante que as amostras apresentem o menos possível de rebarbas.

Uma limpeza das amostras antes do ensaio deve ser efectuada, de forma a evitar qualquer tipo de contaminantes depositados sobre as amostras, podendo alterar os resultados obtidos posteriormente.

Após a limpeza, será realizada a pesagem inicial das amostras, que serão utilizadas para o cálculo de perda ou ganho de massa, após os períodos de tempo estipulados.

Os parâmetros de ensaio devem ser mantidos constantes para todas as amostras, durante todo o período de tempo do ensaio. Um bom controlo dos parâmetros, como a temperatura por exemplo, é fundamental paras que certas amostras não estejam mais suscitáveis às condições de ensaio do que outras.

Garantir que todas as amostras estejam isoladas electricamente, para não haver contacto entre dois materiais diferentes. O ideal é testar uma amostra em cada recipiente, mas devido a grande quantidade de amostras, neste ensaio irão ser utilizados vários recipientes, testando mais que uma amostra, **do mesmo material**, no mesmo recipiente, não havendo desta forma interferência de iões de um material para o outro.

O período de tempo do ensaio é estipulado dependendo da metodologia utilizada, e levado até ao ponto que se assemelha à corrosão encontrada no final vida do material em condições de serviço.

É importante realizar inspecções visuais, de modo a observar os fenómenos de corrosão que ocorrem durante o período de tempo de ensaio.

Após o final do ensaio, e antes de realizar qualquer tipo de limpeza sobre a amostra, deve ser realizado uma inspecção visual da superfície, descrevendo posteriormente os aspecto da mesma, utilizando fotografias sempre que for possível.

Importa referir que o processo de limpeza utilizado, deve depender do tipo de material a ser limpo, e do grau de aderência dos produtos de corrosão. Qualquer que seja o método utilizado para limpeza, este deverá sempre ser realizado com a mínima remoção do material base.

Nestes ensaios, pretende-se avaliar a degradação de cada material seleccionado no capítulo anterior (Aço inoxidável 316L, Aço inoxidável 321, Duplex 14462, PVC, PEAD, PP, Faia e Carvalho), através de testes comparativos de corrosão acelerada numa perspectiva de grande escala de degradação, e não um estudo de grande precisão. Por este motivo, a quantidade de amostras não será significativamente representativa, e o tempo de ensaio relativamente curto (3 semanas e 3 meses). No entanto, estes testes terão uma correspondência com o que sucede nos casos reais, visto que muitas vezes, principalmente em casos de fugas causadas pela degradação das tubagens, o cloro contacta directamente com os materiais, variando as condições consoante os casos.

Neste estudo, é também realizado uma selecção de materiais, com o intuito de melhorar o estado de conservação dos mesmos, assim como a qualidade da água. Para este estudo, serão abordados materiais metálicos, poliméricos e madeira, os quais foram seleccionados pelos motivos referenciados no capítulo anterior.

3.8.1. Preparação e identificação das amostras

De forma a atingir todos os objectivos anteriormente referidos, foram testados os oito materiais, contando com dez amostras de pequenas dimensões (30 mm X 20 mm), e quatro amostras de maiores dimensões (140 mm X 20 mm), para cada material, devido ao tipo de avaliação pretendido, variando para ambos a espessura entre 2 e 8 mm, consoante o material.

A B

Figura 82 – Aspecto de amostras de pequena dimensão (A) e de maior dimensão (B)

Nas tabelas 18 e 19, estão pormenorizadas as dimensões dos dois tipos de amostras.

Tabela 18 - dimensões das amostras pequenas (30 mm x 20 mm)

MATERIAIS	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
Aço inoxidável 316 L	30	20	3
Aço inoxidável 321	30	20	4
Duplex 14462	30	20	2
PVC	30	20	3
PEAD	30	20	3
PP	30	20	3
Faia	30	20	8
Carvalho	30	20	8

Tabela 19 - Dimensões das amostras maiores (140 mm x 20 mm)

MATERIAIS	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
Aço inoxidável 316 L	140	20	3
Aço inoxidável 321	140	20	4
Duplex 14462	140	20	2
PVC	140	20	3
PEAD	140	20	3
PP	140	20	3
Faia	140	20	8
Carvalho	140	20	8

Nesta primeira etapa, as amostras foram preparadas. As quinas de todas as amostras foram arredondadas, de forma a limitar as áreas de ataques preferenciáveis (fig. 83). As amostras metálicas foram acabadas com lixa Nº120 a fim de retirar todas as possíveis impurezas maiores contidas na superfície, como óleo, por exemplo. Numa última etapa, foi efectuado a limpeza final das amostras, através de água, tendo como objectivo remover possíveis impurezas superficiais.

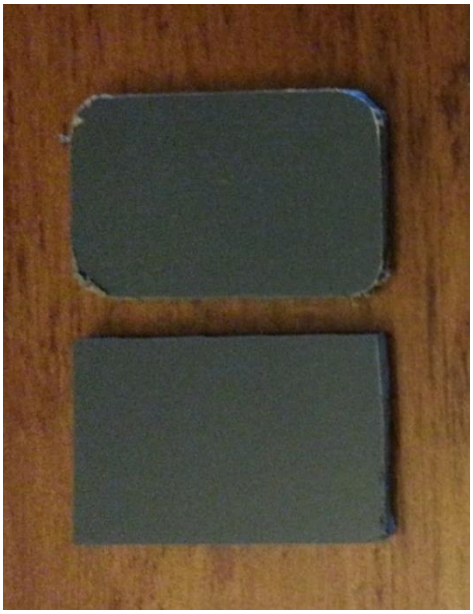


Figura 83 - Amostra de PVC com as quinas arredondadas

3.8.2. Ensaio de corrosão

Inicialmente, a composição química dos materiais metálicos utilizados neste estudo foi analisada por método de espectrometria. Esta análise teve como objectivo observar as possíveis alterações químicas sofridas pelos materiais metálicos, após a imersão dos mesmos nos períodos de tempo estipulados.

De seguida, foram pesadas todas as amostras, de forma a avaliar um futuro ganho ou perda de peso consoante os materiais

Todos os dados relativos ao peso das amostras foram registados em tabelas, divididas pelos seguintes critérios:

- Tipo de amostra (pequena (30 mm x 20 mm), ou grande (140 mm x 20 mm));
- Nº da amostra;
- Tipo de material;
- Diluições (2%, 5%, 25%, 50% e 100%);
- Tempos de ensaio, visto que 50% das amostras terão um tempo de ensaio de duas semanas, e as restantes serão somente retiradas três meses após estarem mergulhadas na solução.

Estas tabelas podem ser consultadas nos anexos desta tese.

Numa terceira etapa, as amostras foram submersas em várias diluições de Hipoclorito de sódio. Para isso, foram utilizados 40 recipientes:

$$5\ diluições\ \times 8\ tipos\ de\ materiais = 40\ recipientes$$

Dos 40 recipientes, foram utilizados 5 para cada tipo de material (sendo 1 recipiente / diluição / material), contendo as seguintes diluições:

- 100% Hipoclorito de sódio;
- 50% Hipoclorito de sódio;
- 25% Hipoclorito de sódio;
- 5% Hipoclorito de sódio;

- 2% Hipoclorito de sódio.

Para as três primeiras diluições acima referidas, foram utilizados recipientes em vidro, com capacidade unitária de 600 ml, 250 ml e 150 ml respectivamente, e as duas últimas diluições, realizadas em recipientes poliméricos, mais propriamente politereftalato de etileno (P.E.T.), com capacidade unitária de 500 ml (fig. 85).

Figura 84 - Recipiente polimérico (esquerda) e em vidro (direita)

Para realizar as diluições, foi utilizado hipoclorito de sódio possuindo uma concentração activa ≥ 13%, e água destilada com um pH de 6.1. o ensaio foi realizado a uma temperatura de aproximadamente 21°C, garantindo esta temperatura durante toda a duração do ensaio. De modo a garantir que as amostras poliméricas e de madeira ficassem totalmente submersas e não ascendesse à superfície da solução, e que a área da mesma não apoiasse totalmente nas paredes do recipiente, podendo originar dessa forma pontos preferenciáveis de corrosão, a amostra foi imobilizada com um fio de Nylon, passando no interior de um tubo de Polietileno (tubo azul que podemos observar na figura seguinte), para se poder obter o comprimento de fio desejado. As amostras foram identificadas no fio a que estão fixas, não danificando assim a

amostra. Por fim, os recipientes foram fechados e protegidos com um filme transparente flexível, nos quais foram efectuadas pequenas furações, de forma a libertar possíveis gazes produzidos entre os materiais e a solução.

Figura 85 – Aspecto da totalidade das mostras submersas nas diversas diluições de NaClO.

Em cada recipiente, foram colocadas duas amostras de pequenas dimensões, ambas do mesmo material, e nos recipientes contendo diluições de 5% e 100% de hipoclorito de sódio, foram acrescentadas duas amostras de maior dimensão em cada um deles, ambas também do mesmo material. Uma pequena área de uma das extremidades de cada amostra de maior dimensão, não ficará submersa, a fim de se verificar a diferença de comportamento da amostra, entre a área submersa, e a pequena área não molhada permanentemente, estando no entanto presente a um elevado teor de NaClO. A tabela 20 representa a quantidade de hipoclorito de sódio e de água utilizados para cada recipiente.

Tabela 20 - Quantidade de NaClO diluído em cada recipiente

Diluição	NaClO (ml)	Água (ml)	TOTAL (ml)
100%	600	0	600
50%	125	125	250
25%	37,5	112,5	150
5%	25	475	500
2%	10	490	500

A etapa de análise dos resultados é sempre bastante crítica, e necessita de uma avaliação preliminar na escolha da metodologia mais apropriada. Existem diversos equipamentos para caracterizar a morfologia e composição, assim como técnicas de cálculo para determinar a intensidade, taxa e velocidade de corrosão. Dependendo do objectivo estabelecido para o estudo, deve-se decidir quais os métodos mais adequados.

É importante realçar que as diferentes metodologias completam-se, podendo ser utilizado uma combinação de diferentes técnicas, para caracterizar os resultados obtidos.

Neste trabalho, foram utilizados os seguintes métodos:

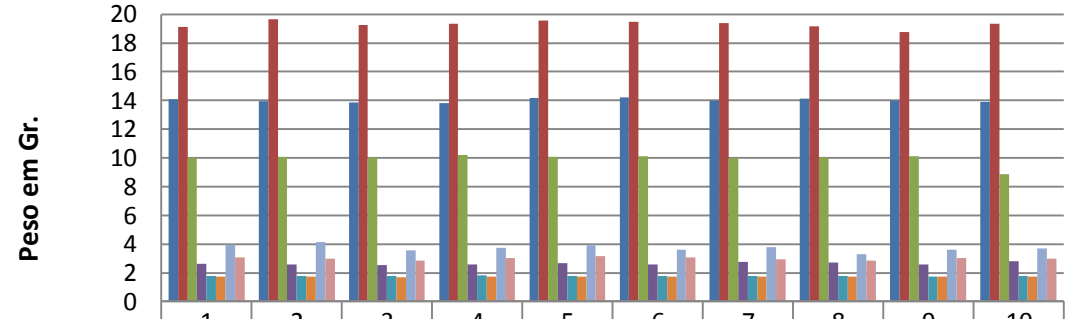
- Inspecção visual;
- Variação de massa;
- Microscopia óptica;
- Microscopia electrónica;
- Caracterização da composição química através da espectrometria;
- Ensaio mecânico (tracção).

Perda de massa

Para a análise por perda de massa, foi utilizada a Balança analítica de precisão de referência "Denver Instruments APX-200", utilizada para calcular a variação de massa das amostras, conforme se pode observar na figura 86.

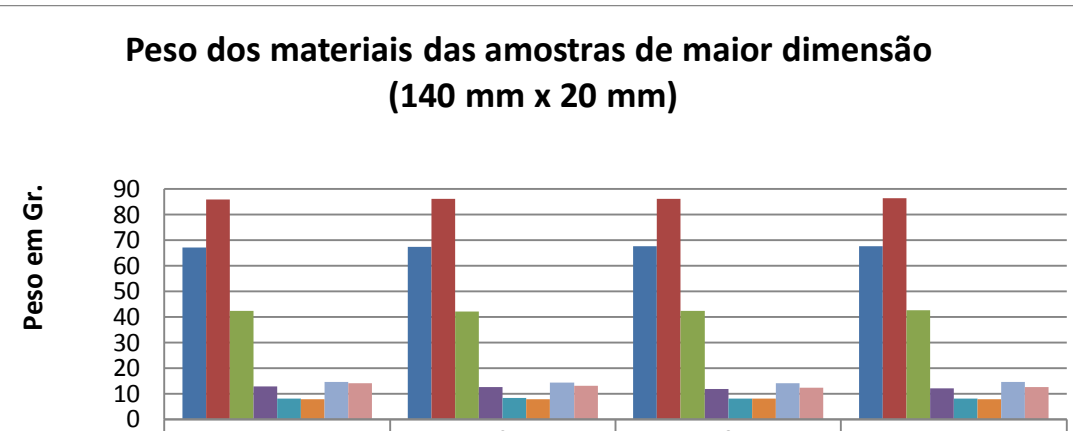
Figura 86 - Balança analítica de precisão Denver Instruments APX-200

Nos dois gráficos gráfico 3 e 4, podemos comparar de uma forma mais clara, o peso inicial de cada uma das amostras, dos oito materiais seleccionados. O primeiro representa as amostras de menor dimensão (30 mm x 20 mm), e o seguinte representa as amostras de maior dimensão (140 mm x 20 mm)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
316 L	14,0975	13,9438	13,8478	13,8089	14,185	14,2312	14,0053	14,1396	14,0129	13,9175
321	19,1099	19,6642	19,2435	19,3303	19,5683	19,4821	19,3806	19,1528	18,7388	19,3305
DUPLEX	10,0138	10,0707	10,0055	10,1901	10,0696	10,1186	9,9857	10,018	10,0919	8,8514
PVC	2,6254	2,5661	2,5397	2,5719	2,655	2,567	2,756	2,7281	2,5911	2,7983
PEAD	1,7611	1,7893	1,7885	1,8049	1,7789	1,7596	1,7668	1,7738	1,7359	1,7594
PP	1,7278	1,7336	1,705	1,7398	1,7357	1,7171	1,741	1,7318	1,7217	1,7441
FAIA	3,9695	4,1241	3,5461	3,725	3,9292	3,5975	3,7958	3,3051	3,6177	3,6826
CARVALHO	3,0548	2,9953	2,8462	3,0365	3,1537	3,063	2,9275	2,86	3,0108	3,0021

Gráfico 3 - Peso dos materiais das amostras de menor dimensão (30mm x 20mm)



	1	2	3	4
316 L	67,1653	67,5295	67,6854	67,7758
321	86,0304	86,3287	86,2675	86,3674
DUPLEX	42,382	42,2661	42,4047	42,6889
PVC	12,7467	12,4979	11,9719	11,9935
PEAD	8,2068	8,2396	8,1693	8,1875
PP	7,7866	7,8628	7,9942	7,9395
FAIA	14,5154	14,3358	14,0207	14,6367
CARVALHO	14,151	13,1998	12,2915	12,7022

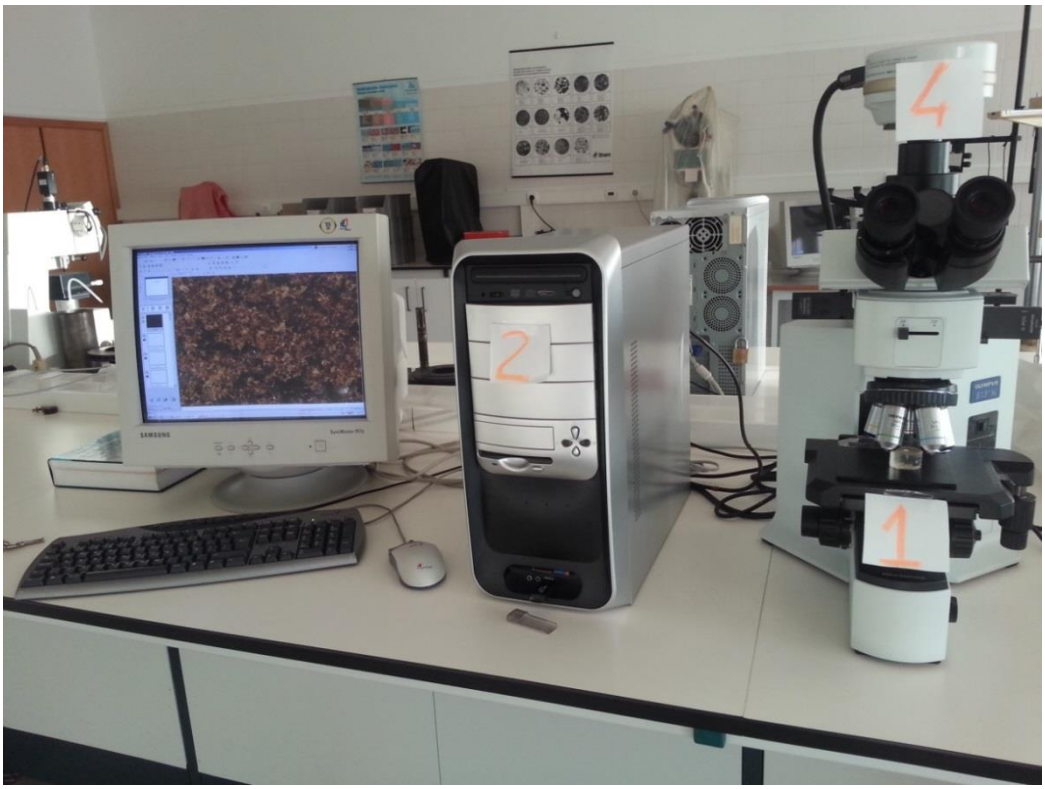
Gráfico 4 - Peso dos materiais das amostras de maior dimensão (140 mm x 20 mm)

Microscopia

Nos laboratórios metalográficos, as analises são realizadas com auxílio de microscópios, geralmente chamados bancos metalográficos, que permitem examinar as amostras e fotografar facilmente as imagens observadas. Os aspectos micrográficos são em geral, fotografados com ampliações que variam de 50 a 1000 vezes.

Para a análise de microscopia óptica deste estudo, foi utilizado um microscópio de modelo "BX51M", do fabricante "Olympus", conforme se pode observar na figura 87.

A



B

C

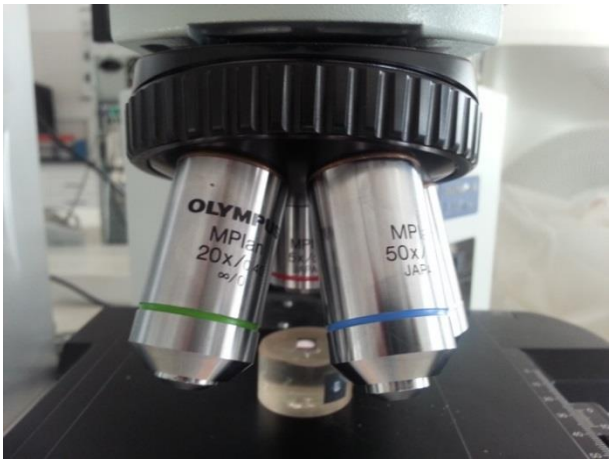


Figura 87 - Microscópio "Olympus BX51M". Equipamento completo (A), microscópio (B) e lentes (C)

A principal função de qualquer microscópio, é tornar visível o que for muito pequeno e invisível a olho nu. Inicialmente, foi utilizada a lupa, seguida do microscópio óptico, que ilumina o objecto com uma luz visível ou ultravioleta. O limite máximo de resolução dos microscópios ópticos é estabelecido pelos efeitos de difracção devido ao comprimento de onda da radiação incidente, limitando os microscópios ópticos convencionais a um aumento máximo de 2000 vezes, tornando imperceptíveis certos detalhes acima deste valor. Uma forma de aumentar a resolução, passa pela utilização de radiação com comprimento de onda menor que a luz visível, como fonte de iluminação do objecto, sendo necessário um polimento perfeito da superfície a ser observada, devido à profundidade de campo ser inversamente proporcional aos aumentos. Um microscópio electrónico de varrimento (M.E.V.) utiliza um feixe de electrões, em vez de fotões, utilizados num microscópio óptico convencional, o que permite solucionar o problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca.

Em microscopia electrónica de varrimento, existe aparelhos que permitem aumentos superiores a 300000 vezes, para a maioria dos materiais sólidos. O M.E.V. pode facultar num curto espaço de tempo, informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos contidos na amostra, através de análise de E.D.S., tornando o M.E.V. num dos instrumentos mais versáteis, disponíveis para a observação e análise de características macroestruturais de objectos sólidos. A principal razão de sua utilidade é a alta resolução que pode ser obtida quando as amostras são observadas, atingindo geralmente valores na ordem de 2 a 5 nanómetros em equipamentos comerciais, e uma resolução de 1 nanómetro em equipamentos de pesquisa avançada. Outra característica importante do M.E.V. é a apresentação tridimensional da imagem das amostras e o resultado directo da grande profundidade de campo. Permite também, o exame em pequenos aumentos, e com grande profundidade de focagem, o que é extremamente útil, visto que a imagem electrónica complementa a informação dada pela imagem óptica [27].

Para a análise de microscopia óptica deste estudo, foi utilizado um microscópio de modelo “Quantum 400”, do fabricante “Edax”, conforme se pode observar na figura 88.

A

B

C

Figura 88 - Microscópio electrónico de varrimento: equipamento completo (A), microscópio (B) e amostra fixo no porta-amostras (C)

Ensaio de espectrometria

A caracterização química é uma importante ferramenta quando é necessário conhecer a composição química de um metal ou liga metálica. A identificação da composição química é possível através da análise qualitativa por espectrometria. Após a identificação de cada componente, é possível quantificar os teores dos elementos de uma determinada liga e, com

os resultados obtidos, efectuar a sua classificação quanto à composição química, sendo igualmente possível verificar se o material se enquadra numa determinada especificação técnica.

A espectrometria é um método que mede a quantidade de luz que uma substância química absorve, por meio de medição da intensidade luminosa de um feixe de luz que passa através da solução amostra. O funcionamento consiste no princípio básico de que, cada composto químico, absorve ou transmite a luz ao longo de um determinado intervalo de comprimento de onda. Esta medição pode igualmente ser utilizada para medir a quantidade de concentração de uma substância química conhecida. Este método, é um dos mais úteis de análise quantitativa em diferentes áreas, como química, física e engenharia de materiais, por exemplo [28].

Para este estudo, os ensaios de composição química foram realizados com o auxílio de um espectrómetro de emissão óptica de modelo “SPECTROLAB M8”, do fabricante Spectro, conforme se pode observar na figura 89.

Figura 89 – Espectrómetro de emissão óptica SPECTROLAB M8

A análise foi efectuada em de aço inoxidável 316L, aço inoxidável 321 e Duplex 14462, idênticas às que foram utilizadas para o ensaio de imersão, conforme se pode observar na figura 90:

A B C

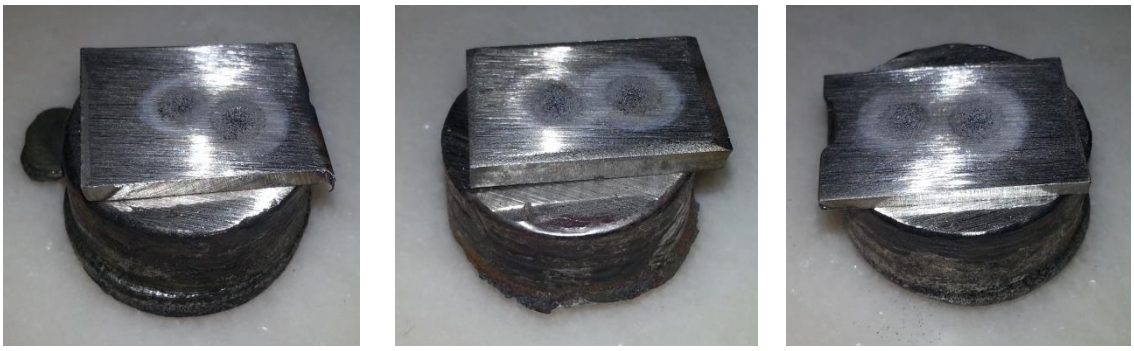


Figura 90 – Amostra de aço inoxidável 316L (A), aço inoxidável 321 (B) e Duplex 14462 (C) utilizadas para análise da composição quimica por espectrometria

A tabela 21, 22 e 23 apresentam o resultado da composição química obtida nas amostras dos aços inoxidáveis 316L, 321 e Duplex 14462, assim como as suas respectivas médias.

Tabela 21 - Composição química do aço inoxidável 316L utilizado nos ensaios

Aço inoxidável 316L (%)									
Amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
1	0.0248	0.377	1.345	0.0348	<0.0006	16.930	10.318	2.064	0.0275
2	0.0209	0.377	1.344	0.0355	<0.0006	16.920	10.344	2.064	0.0276
3	0.0190	0.368	1.363	0.0314	<0.0006	17.026	10.261	1.997	0.0269
	Cu	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
1	0.5551	0.0331	0.0026	0.0129	0.0126	0.0511	0.0617	0.2874	67.86
2	0.5488	0.0334	0.0024	0.0128	0.0128	0.0508	0.0620	0.2862	67.86
3	0.5530	0.0335	0.0018	0.0125	0.0120	0.0502	0.0613	0.2871	67.90
	C	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
MÉDIA	0.0216	0.374	1.351	0.0339	<0.0006	16.959	10.308	2.042	0.0273
	Cu	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
MÉDIA	0.5523	0.0334	0.0023	0.0128	0.0125	0.0507	0.0616	0.2869	67.87

Tabela 22 - Composição química do aço inoxidável 321 utilizado nos ensaios

Aço inoxidável 321 (%)									
Amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
1	0.0536	0.539	0.828	0.0397	<0.0006	16.993	9.520	0.227	0.0083
2	0.0514	0.537	0.823	0.0414	<0.0006	17.021	9.499	0.226	0.0081
3	0.0478	0.525	0.836	0.0378	<0.0006	17.102	9.421	0.222	0.0080
	Cu	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
1	0.2984	<0.0010	0.0152	0.3529	0.0055	0.0386	0.0713	0.1139	70.90
2	0.2986	<0.0010	0.0150	0.3506	0.0065	0.0401	0.0706	0.1157	70.90
3	0.2991	<0.0010	0.0141	0.3460	0.0063	0.0395	0.0697	0.1167	70.91
	C	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
MÉDIA	0.0509	0.534	0.829	0.0396	<0.0006	17.039	9.480	0.225	0.0081
	Cu	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
MÉDIA	0.2987	<0.0010	0.0148	0.3499	0.0061	0.0394	0.0706	0.1155	70.90

Tabela 23 - Composição química do Duplex 14462 utilizado nos ensaios

Duplex 14462 (%)									
Amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
1	0.0178	0.445	1.423	0.0258	<0.0006	22.170	5.789	3.129	0.0103
2	0.0159	0.435	1.445	0.0241	<0.0006	22.255	5.756	3.058	0.0099
3	0.0165	0.440	1.420	0.0267	<0.0006	22.207	5.769	3.104	0.0101
	Cu	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
1	0.2115	0.2571	0.0053	0.0070	0.0040	0.0383	0.0643	0.0980	66.30
2	0.2118	0.2351	0.0045	0.0069	0.0039	0.0371	0.0634	0.0971	66.34
3	0.2067	0.2427	0.0053	0.0069	0.0045	0.0379	0.0636	0.0985	66.34
	C	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
MÉDIA	0.0167	0.440	1.429	0.0255	<0.0006	22.211	5.771	3.097	0.0101
	Cu	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
MÉDIA	0.2100	0.2450	0.0050	0.0069	0.0041	0.0378	0.0638	0.0979	66.33

Nos materiais analisados, verificou-se que foram distintos os teores e a quantidade de elementos encontrados nos materiais, sendo de referir os seguintes:

- **Carbono**: Define e estabelece as propriedades do aço, quanto à dureza e a resistência;
- **Alumínio**: Melhora a resistência à oxidação em temperaturas elevadas;
- **Silício**: elemento benéfico aos aços, visto ser um elemento principalmente desoxidante, neutralizando a acção de CO ou CO_2 através da fusão e solidificação dos aços. Melhora a resistência à oxidação em temperaturas elevadas;
- **Manganês**: elemento benéfico aos aços, visto melhorar a resistência mecânica;
- **Níquel**: Melhora as propriedades mecânicas e a resistência à corrosão;
- **Cobre:** Aumenta a resistência à corrosão atmosférica, assim como entre certos reagentes ácidos;
- **Cromo:** Melhora a resistência mecânica se for introduzido em baixos teores, pelo contrário, se for introduzido em maior quantidade, melhora a resistência ao desgaste por formar carbonetos. Este é o elemento mais básico para tornar um material oxidável, sendo suficiente uma percentagem de 5%. Para o tornar inoxidável, aumentando a sua resistência à corrosão, deve conter um mínimo de 10% de cromo. Este efeito é aumentado com a adição de outros elementos químicos, como o molibdénio, níquel, cobre, silício e alumínio, dependendo das condições de aplicação pretendidas;
- **Molibdénio**: Este elemento tem o mesmo efeito que o níquel, cromo e manganês, em termos de propriedades mecânicas, tendo a vantagem de as aumentar em temperaturas mais elevadas. Melhora igualmente a resistência à corrosão quando contacto com agente como ácidos ou cloretos;
- **Nióbio e Titânio**: tem como principal característica, evitar o fenómeno de corrosão intergranular, dos aços inoxidáveis cromo-niquel.

No entanto, foram igualmente observado nas análises efectuadas às três amostras metálicas, a presença de elementos químicos como o fosforo, enxofre e estanho, que podem ser

prejudiciais aos aços. A presença de alguns desses elementos, como o estanho, deve-se possivelmente a contaminações ocorridas durante o processo de fabrico do material.

- **Fosforo e enxofre**: Estes elementos são geralmente considerados impurezas nocivas, devido ao efeito que podem produzir;

- **Estanho**: Assim como os dois elementos acima referidos, o estanho é prejudicial ao aço. No entanto, a sua presença deste elemento deve-se possivelmente à presença de chapas soldadas ou estanhadas de sucata. O estanho origina superfícies defeituosas e frágeis nas peças trabalhadas a quente.

Um elemento igualmente observado nos três materiais metálicos em estudo, é o nitrogénio. Este elemento é adicionado em aços com um alto teor de cromo, e são muitas vezes "nitronicos", caracterizando-se por serem aços inoxidáveis cromo-manganês, em altos teores, apresentado igualmente molibdénio, silício, nióbio e vanádio. Possuem alta resistência a temperaturas ambientes ou altas. Apresentam baixos teores de carbono, não ocorrendo transformação

Ensaio de tracção

A caracterização de materiais permite a obtenção de propriedades importantes. Neste estudo, foi utilizado uma vasta série de avaliações, entre as quais se encontra o ensaio de tracção, relacionando as características dos materiais através da resposta dos mesmos, quando submetidos a uma certa força. O ensaio consiste na aplicação de uma carga uniaxial sobre uma amostra, medindo a variação de comprimento, tensão limite de cedência, tensão de rotura, etc. No ensaio de tracção, a amostra do material é submetida a um esforço longitudinal, na qual as extremidades são presas pelo equipamento de medição, conforme se pode observar na figura 91.

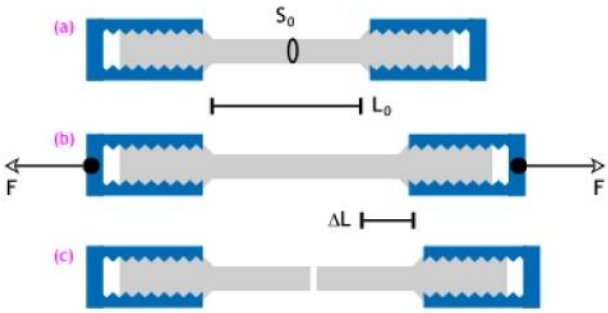


Figura 91 - Ilustração de uma amostra submetida a um ensaio de tracção

Através das forças e alongamentos obtidos, constrói-se uma curva “tensão-deformação”, que relaciona estes dois parâmetros para os diferentes materiais submetidos a ensaio. O ensaio de tracção é muito utilizado para a obtenção de informações sobre a resistência dos materiais.

Podemos dizer que um material tem um comportamento elástico se, uma vez que a força sobre o mesmo é removida, este retomar as dimensões iniciais, verificando-se a ausência de deformações permanentes, ou seja, o comprimento do material submetido ao ensaio retoma ao valor L_0 quando a força exercida sobre o mesmo deixa de actuar. A partir do limite elástico, tem-se o início da deformação plástica do material, na qual a deformação é permanente. Após o limite de deformação plástica, na qual se verifica a tensão máxima do material, este pode sofrer uma redução significativa de área de secção, no caso de se tratar de um material dúctil, resultando finalmente na rotura do material [29].

Os ensaios de tracção deste trabalho foram realizados por uma máquina universal de ensaios de modelo “Autograph AG-X 100kN”, do fabricante Shimadzu, como se pode observar na figura 92.

A

B C

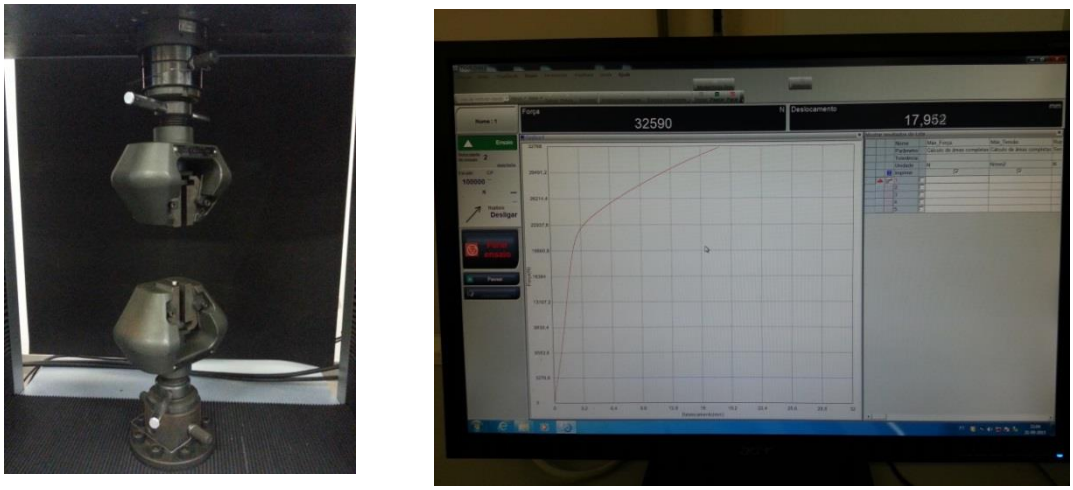


Figura 92 - Maquina utilizada para o ensaio de tração: Equipamento completo (A), garras de aperto das amostras (B) e sistema de monitorização (C)

Numa primeira etapa, as amostras foram devidamente identificadas e marcadas, traçando os seus limites de comprimento útil (neste caso, foram marcados dois pontos entre garras a uma distancia de 90 mm), de forma a poder-se verificar posteriormente o alongamento sofrido pelo material. De seguida, a amostra foi apertada nas garras da máquina, e o programa foi configurado para o ensaio de tracção, no qual são solicitadas informações sobre o tipo de material da amostra, as suas dimensões e as condições de ensaio como a velocidade de deslocamento, por exemplo. Após toda esta preparação, são colocados os contadores a zero, e dá-se início ao ensaio.

A B C

Figura 93 - Aspecto de amostra metálica (A), polimérica (B) e de madeira (C) sujeitas a ensaio de tracção

Nesta avaliação, foram utilizadas as amostras de maior dimensão (140mm X 20mm X espessura). Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente, e as velocidades de deslocamento mantidas constante para cada grupo de materiais, conforme se pode verificar na tabela 24, a fim de os seus comportamentos poderem ser comparáveis:

Tabela 24 - Velocidade de deslocamento para cada grupo de materiais

Tipo de materiais	Velocidade de deslocamento
Metais	4 mm/min
Polímeros	20 mm/min
Madeira	1 mm/min

Importa referir que as velocidades deslocamento seleccionadas garantem uma quantidade satisfatória de pontos para a análise de avaliação.

No final, as amostras avaliadas serão comparadas a uma amostra padrão de cada material, e será analisada a zona de rotura de cada amostra.

Os ensaios foram realizados em condições de laboratório, a fim de acelerar a rotura dos materiais. O principal objectivo deste ensaio, foi observar os comportamentos mecânicos dos materiais submersos em duas soluções distintas de hipoclorito de sódio, sem nenhuma preparação da amostra, e utilizando parâmetros sensivelmente superiores quando comparado às situações reais utilizadas na E.T.A. e nas piscinas de Vale de Cambra, ou seja, observar os comportamentos que possivelmente podem ocorrer, com os materiais imunes de qualquer preparação, mantendo as mesmas características que em condições de utilização.

O programa que recolhe os dados da máquina de tracção fornece os valores de força máxima e de rotura executadas durante o ensaio. Esses dados são importantes, uma vez que permitem obter a tensão máxima (σ_{max}), e de rotura (σ_{rot}), de um material. A tensão máxima é obtida através da equação 26:

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} \tag{26}$$

Em que:

- σ_{max} – Tensão máxima
- F_{max} – Força máxima aplicada
- A – área transversal da amostra

A tensão de rotura é obtida através da equação 27:

$$\sigma_{rot} = \frac{F_{rot}}{A} \tag{27}$$

Em que:

- σ_{max} – Tensão de rotura
- F_{max} – Força de rotura aplicada
- A – área transversal da amostra

Importa referir que a resistência da madeira quando é submetida a esforços, varia, mediante o sentido do esforço externo provocado, e o sentido das fibras do material. No sentido do fio, segundo o eixo das fibras, a resistência da madeira é superior à capacidade resistente na direcção perpendicular ao fio. A figura 94 ilustra as diversas orientações das fibras na madeira [30].

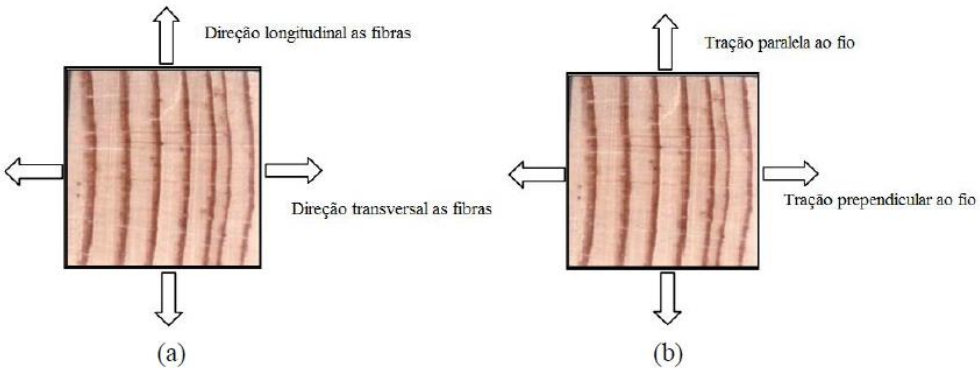


Figura 94 - Aspecto das direcções no desenvolvimento das fibras (A) e das direcções nas fibras quando é aplicada uma força (B)

Neste estudo, serão determinadas as propriedades no sentido “perpendicular ao fio”, visto que muitas vezes, ao serem adquiridos ou construídos acessórios de madeira para uma determinada aplicação, a importância dado a este parâmetro é desprezado, sendo no entanto de elevada importância. Tendo em conta este facto, considera-se preferível efectuar o estudo considerando a menor resistência do material, assegurando assim uma resistência e durabilidade sempre superior ao estudo feito.

3.8.3. Apresentação e discussão de resultados obtidos e fenómenos verificados

Quando as amostras foram mergulhadas nas soluções, no mesmo instante, nada de relevante sucedeu.

3.8.3.1. Fenómenos verificados após dois dias de imersão

Foram distintos os resultados obtidos, tanto quanto ao tipo de material estudado assim como á concentração de hipoclorito de sódio utilizado.

Após dois dias de imersão das amostras nas soluções de NaClO, foi possível observar um comportamento distinto entre os testes, quer a nível do tipo de material, como a nível da concentração de NaClO utilizada. Em todos os materiais testados, verificou-se alguma efervescência, sendo menor em diluições de NaClO mais baixas, e maior em diluições de NaClO mais altas.

A B C

Figura 95 – Amostras metálicas de aço inoxidável 316L (A), aço inoxidável 321 (B) e Duplex 14462 (C) após dois dias de imersão em solução de 2% de NaCl

Importa referir que se verificou maior efervescência em materiais poliméricos do que em materiais metálicos, como se pode observar na figura 96, quando comparado com a figura 95.

A B C

Figura 96 - Amostras poliméricos de PVC (A), PEAD (B) e PP (C) após dois dias de imersão em solução de 2% de NaCl

No entanto, os materiais poliméricos e metálicos não alteraram a sua forma, e não provocaram coloração nas soluções. Pelo contrário, nas amostras dos dois tipos de madeira (Carvalho e Faia), foi possível verificar uma diferença significativa de aspecto no material, e uma coloração claramente diferente na solução, que passou de amarelo-esverdeada a tons de castanho, originada pelo início da degradação do material, onde se pode mesmo verificar a alteração da coloração do próprio material entre a zona submersa e a zona não submersa. Esta degradação verificou-se em todas as diluições, sendo mais forte em concentrações de NaClO mais elevadas. Pode-se verificar que o ataque corrosivo da madeira é por desfibramento do material, notando-se maior degradação do Carvalho quando comparado com a Faia. Na figura 97, é possível observar a degradação do Carvalho e da Faia neste intervalo de tempo.

A B

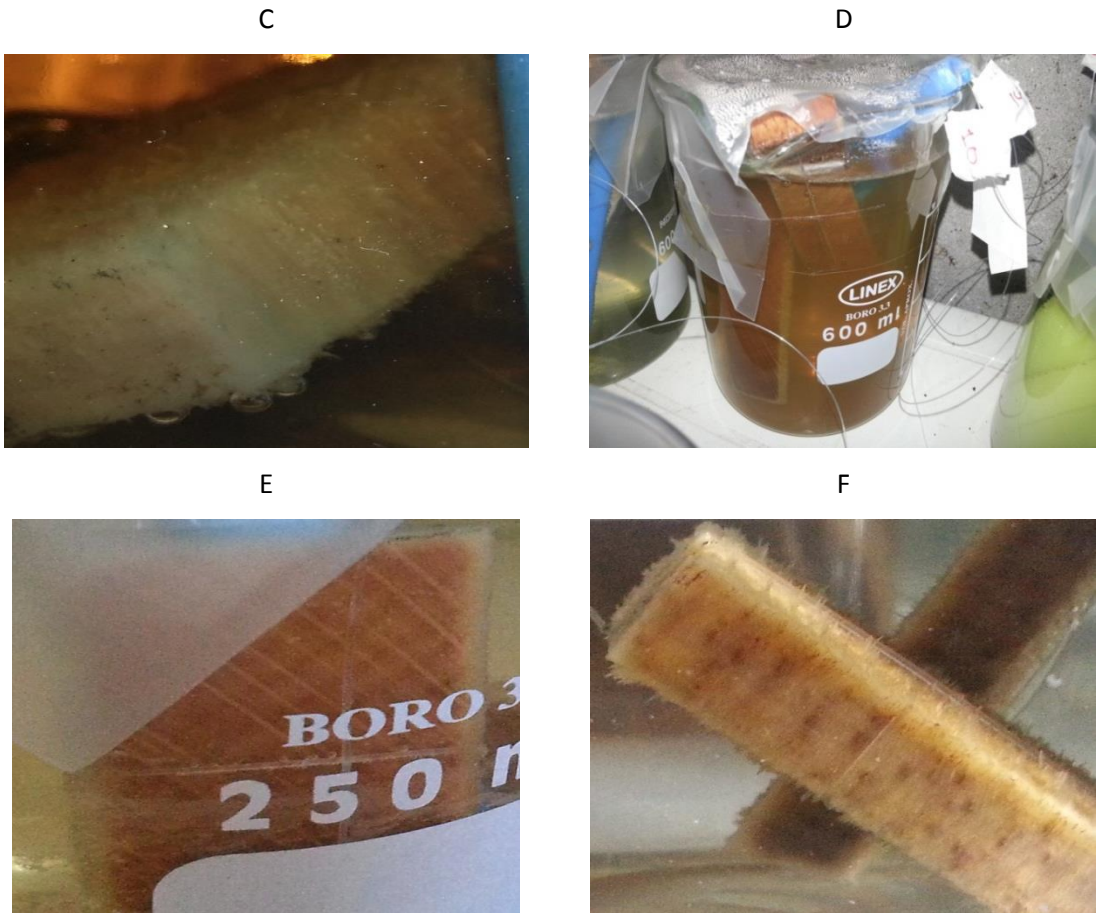


Figura 97 - Degradação da madeira de Faia (A, B e C) e do Carvalho (D, E e F) após dois dias de imersão das amostras em solução de NaClO

3.8.3.2. Fenómenos verificados após três semanas de imersão

Após 3 semanas de imersão, foi possível observar fenómenos de degradação bastante distintos, mediante o tipo de material e a diluição utilizada. As amostras de materiais poliméricos continuaram a não provocar qualquer alteração na coloração da solução, verificando-se o contrário nas amostras de materiais metálicos e de madeira. A alteração da coloração na solução deve-se a degradação do material, sendo alterada com maior ou menor intensidade mediante a degradação dos mesmos. Nos materiais metálicos, podemos verificar que a solução apresenta uma coloração mais escura quando comparada á inicial. Essa variação é mais visível no aço inoxidável 321 e 316L, sendo praticamente desprezável no material Duplex 14462. Como já foi referido, a alteração da coloração deve-se a degradação do material, sendo importante referir que foi possível observar uma quantidade de produto de corrosão significativa nos aços inoxidáveis 321 e 316L, e praticamente nula no Duplex 14462. Verificou-se igualmente a alteração da coloração nas soluções contendo madeira. Já tinha sido possível observar alguma alteração após dois dias de imersão, contudo, a coloração das soluções deste tipo de material ampliou para tons mais escuros. Na figura 98, é possível

observar todos os tipos de materiais no interior dos respectivos recipientes, antes de serem retirados.

Figura 98 - Materiais no interior dos respectivos recipientes

A tabela 25 refere-se às imagens da figura 98.

Tabela 25 - Identificação das amostras referente a figura 99

FIGURA	MATERIAL
A	Aço inoxidável 316L
B	Aço inoxidável 321
C	Duplex 14462
D	PVC
E	PEAD
F	PP
G	Faia
H	Carvalho

Foram igualmente efectuadas verificações visuais, com e sem agitação dos recipientes contendo as soluções. Nesta análise, foi possível verificar que, no caso dos materiais metálicos, os produtos de corrosão encontravam-se estagnados no fundo do recipiente, elevando-se por um curto período de tempo (alguns segundos), quando os recipientes foram agitados, depositando-se novamente no fundo dos recipientes. No caso da madeira, verificou-se a situação oposta, no qual foi possível observar produto originado pela degradação do material disperso por toda a solução, tendo contudo, uma maior quantidade no fundo e na superfície do recipiente. Este produto, originado pela degradação da madeira, apresenta um aspecto de finos fios entrelaçados (novelos), possivelmente devido a pequenas fibras libertadas pelo material através de desfibramento. Quando os recipientes foram agitados, observou-se uma dispersão uniforme do produto de degradação do material, que permaneceu durante vários minutos, voltando a posição referida inicialmente após aproximadamente quinze minutos, período de tempo em que foi feita uma nova verificação visual. Os materiais poliméricos, como já seria de esperar, não apresentam qualquer tipo de produto relativos à degradação do material. Nas figuras seguintes, é possível observar o produto de corrosão das amostras no interior dos respectivos recipientes, antes de serem retirados. A figura 99 está igualmente identificadas de acordo com a tabela 25, acima apresentada.

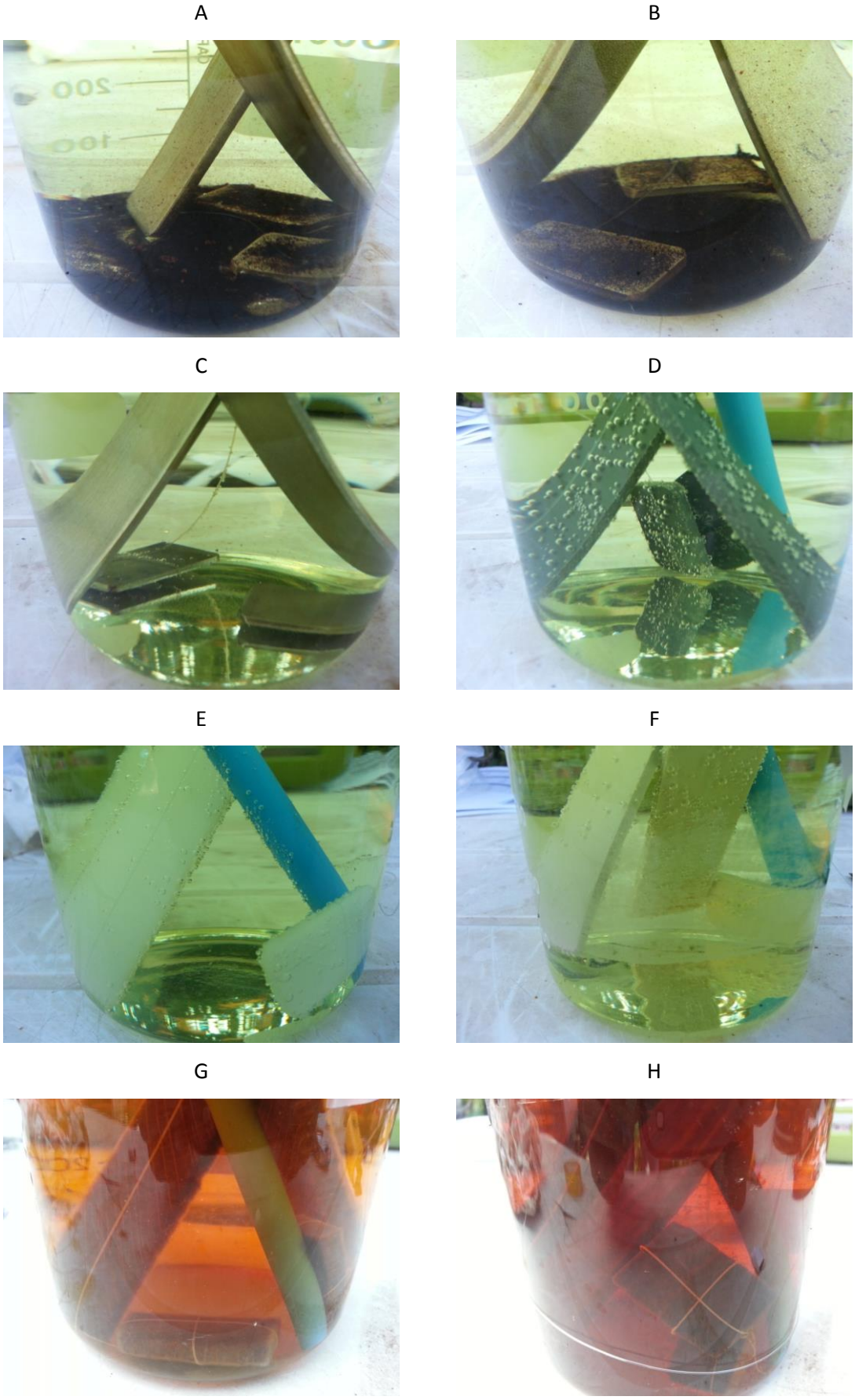


Figura 99 - Produto de corrosão das amostras de aço inoxidável 316L (A), aço inoxidável 321 (B), Duplex 14462 (C), PVC (D), PEAD (E), PP (F), Faia (G) e Carvalho (H)

Importa também referir que foram analisadas todas as soluções em estudo, antes de serem retiradas as devidas amostras dos recipientes, a fim de verificar a existência de hipoclorito de sódio nas mesmas. Todas as amostras de materiais metálicos e poliméricos continuam a apresentar um elevado teor de cloro, independentemente da diluição estabelecida. Nas amostras de madeira, as analises revelaram a situação oposta aos materiais metálicos e polímeros, verificando-se a perda total de cloro em todas as soluções. Esta perda deve-se possivelmente ao facto da madeira ser um material orgânico, reagindo com o mesmo, sendo absorvido. Após este período de tempo (3 semanas), não se verificou um valor significativo de evaporação em nenhuma solução. Nas soluções contendo madeira, foi possível observar uma ligeira variação de nível no recipiente, possivelmente devido a absorção da solução por parte dos materiais.

Numa segunda etapa deste estudo, foram retiradas as devidas amostras dos recipientes, a fim de serem avaliadas mais minuciosamente. Inicialmente, as amostras foram retiradas, e inspeccionadas visualmente. Os materiais poliméricos e o Duplex 14462 não apresentaram pontos de corrosão visíveis a olho nu, e não se verificou qualquer alteração nas dimensões das amostras. Na figura 100, é possível observar amostras de materiais poliméricos e Duplex 14462, no momento em que foram retirados dos respectivos recipientes.

A

B

C

D

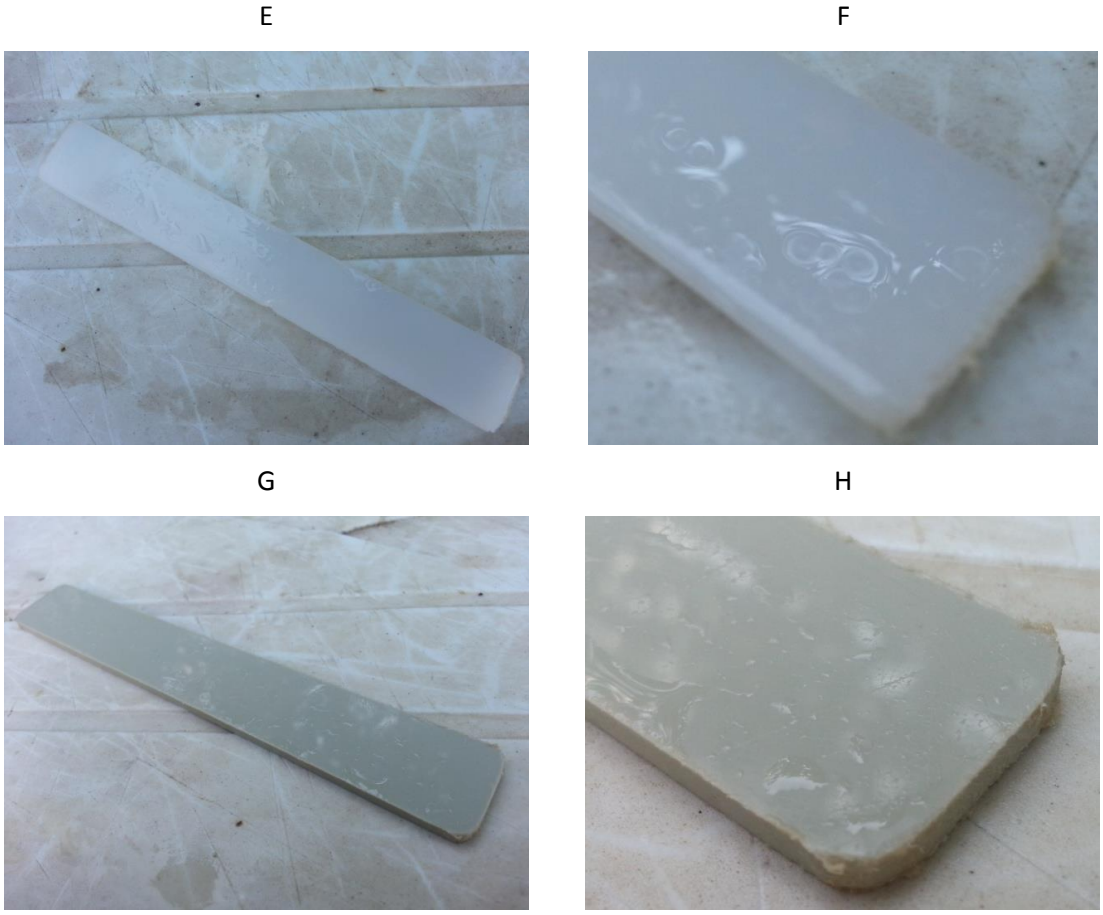


Figura 100 - Amostra molhada e respectivo pormenor de Duplex 14462 (A e B), PVC (C e D) e PEAD (E e F) e PP (G e H)

Pelo contrário, nos materiais metálicos em aço inoxidável 316L e 321, foi possível verificar produto de corrosão em vários pontos das amostras, significando maior degradação nesses locais. Nas amostras em aço inoxidável 316L e 321, foi possível observar uma degradação mais acentuada em pontos da amostra localizados fora da solução, tendo estado em contacto com a solução em momentos de agitação dos recipientes, contudo, encontravam-se em ambiente atmosférico com elevado teor de cloro. Visualmente, as dimensões das amostras permaneceram inalteradas. Na figura 101, é possível observar amostras de materiais metálicos em aço inoxidável 316L e 321, no momento em que foram retiradas dos respectivos recipientes

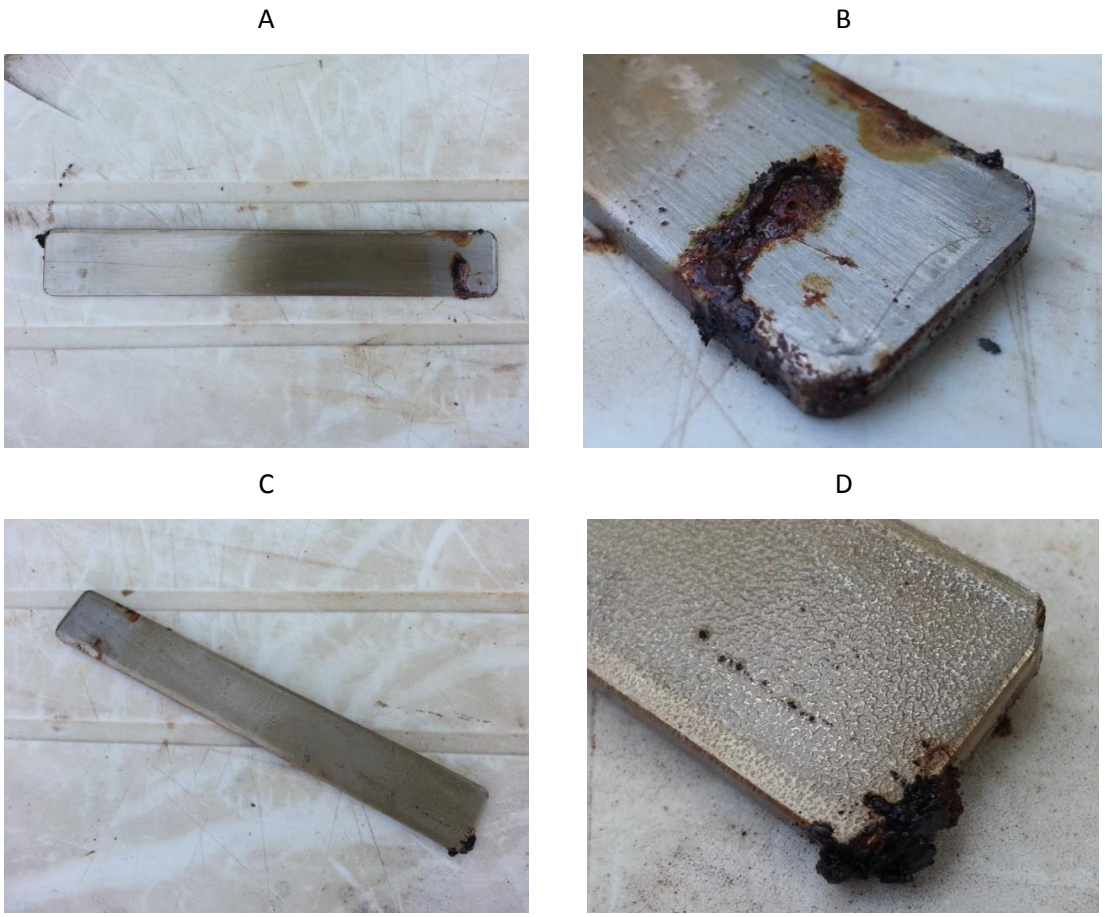


Figura 101 - Amostra molhada e respectivo pormenor de aço inoxidável 316L (A e B) e aço inoxidável 321 (C e D)

Nas amostras de madeira, verificou-se uma elevada degradação quando comparado com os restantes materiais. A olho nu, foi possível observar uma diminuição significativa das dimensões das amostras, quando comparado com as dimensões iniciais. Ao contrário dos aços inoxidáveis 316L e 321, foi possível observar maior degradação na área submersa, quando comparado com a extremidade das amostras de Faia e de Carvalho que não ficou totalmente submersa, estando contudo em contacto com um meio atmosférico, possuindo um elevado teor de cloro. Numa avaliação táctil, os dois tipos de madeira apresentaram alguma viscosidade com uma coloração escura. Como já foi referido, esta degradação deve-se possivelmente a um ataque exercido pela solução de hipoclorito de sódio, causando degradação por desfibramento da madeira. A degradação apresentada foi uniforme, e as dimensões diminuíram mais significativamente na área coberta pela solução. Na figura 102 é possível observar as amostras de madeira, no momento em que foram retirados dos respectivos recipientes.

A

B

C

D

E

F

G

H

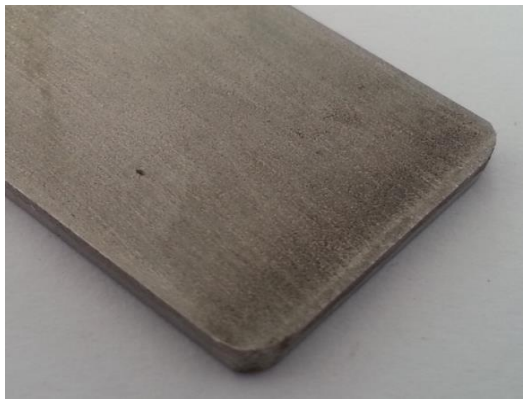
Figura 102 - Amostra molhada e respectivo pormenor de Faia (A, B, C e D) e carvalho (E, F, G e H)

Após esta primeira avaliação visual, as amostras foram lavadas com água destilada igual à que foi utilizada inicialmente para as diluições de hipoclorito de sódio. A lavagem foi realizada com água em movimento, evitando desta forma possíveis misturas de produtos de corrosão entre os diversos materiais, visto que esta etapa teve como principal objectivo, a remoção de impurezas encontradas nos materiais. As amostras foram de seguida colocadas durante um período de tempo de dois dias num local a temperatura ambiente (cerca de 25ºC), na E.T.A. em estudo, de forma a secar as amostras, sem que haja contacto com outros materiais (lixas ou outros materiais semelhantes), evitando desta forma qualquer remoção do material base. Para finalizar esta fase, procedeu-se a uma nova avaliação visual, onde foi possível observar mais detalhadamente os diversos ataques corrosivos provocados.

Os materiais poliméricos e o Duplex 14462, continuaram a não apresentar quaisquer pontos de corrosão visíveis a olho nu, não se verificando igualmente qualquer alteração nas dimensões das amostras. No entanto, foi possível verificar um fenómeno interessante, visto que apareceram sais de coloração branca na superfície das amostras poliméricas, sendo possivelmente originado pelo contacto dos materiais com a solução de hipoclorito de sódio. Estes sais parecem presos às amostras, visto que mostraram alguma resistência quando se efectuou uma tentativa de remoção numa pequena zona da mesma. Na figura 103, é possível observar amostras de materiais poliméricos e Duplex 14462, após a secagem das mesmas.

A

B



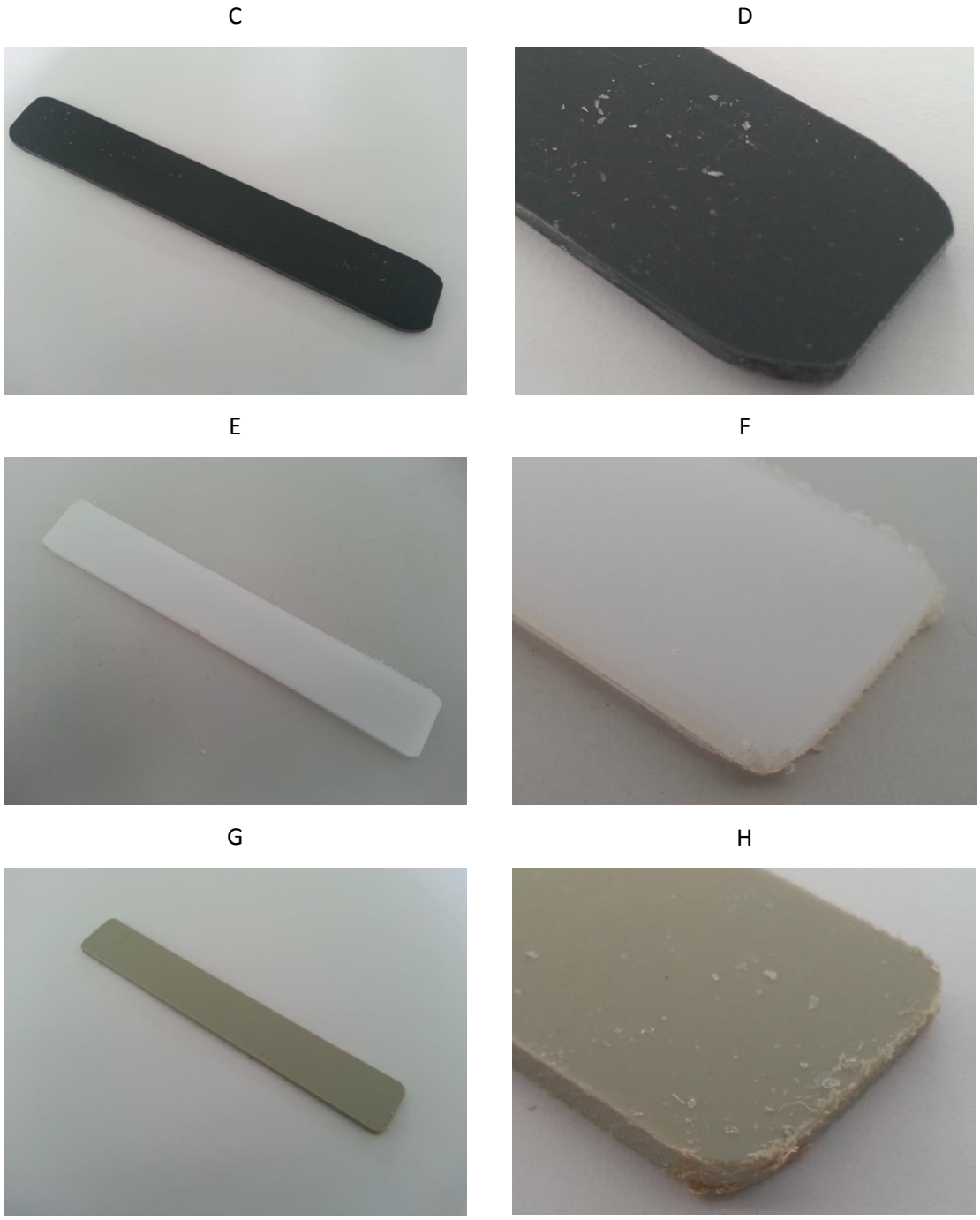


Figura 103 - Amostra seca e respectivo pormenor de Duplex 14462 (A e B), PVC (C e D), PEAD (E e F) e PP (G e H)

Pelo contrário, nos materiais metálicos em aço inoxidável 316L e 321, foi possível verificar um estado avançado de corrosão, confirmando os resultados de uma primeira análise visual, efectuada antes da limpeza das amostras. Nestes dois materiais, é possível verificar ataques localizados sob a forma de picadas, de maior ou menor área e profundidade, consoante os locais. Importa referir que esta forma de ataque é típica nos aços inoxidáveis em contacto com cloro e derivados do mesmo, conforme foi referenciado anteriormente. Visualmente, as

dimensões das amostras permaneceram inalteradas. Na figura 104, é possível observar amostras de materiais metálicos em aço inoxidável 316L e 321 após a secagem das mesmas.

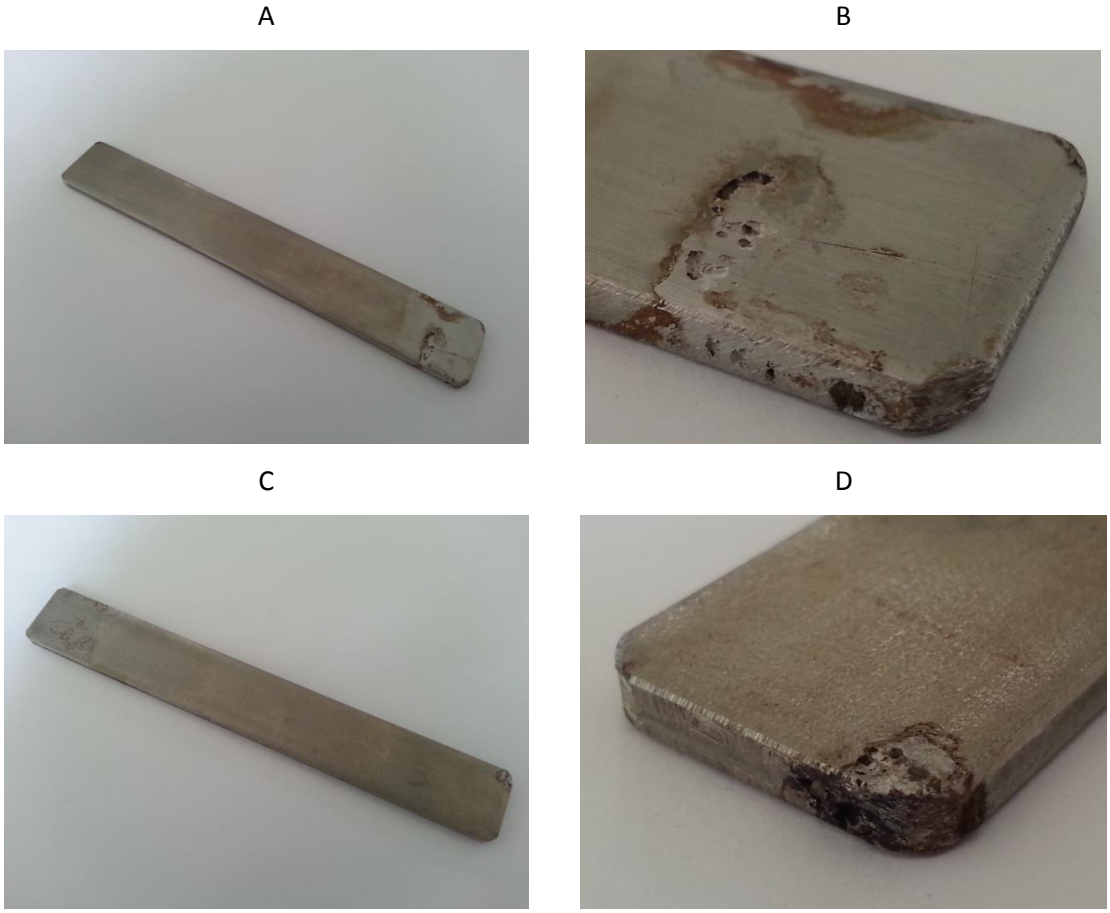


Figura 104 - Amostra seca e respectivo pormenor de aço inoxidável 316L (A e B) e aço inoxidável 321 (C e D)

Nas amostras de madeira, confirmou-se uma elevada degradação quando comparado com os restantes materiais. A olho nu, foi possível observar uma diminuição significativa das dimensões das amostras quando comparado com as dimensões iniciais. Assim como nos polímeros, foi igualmente possível verificar o aparecimento de sais de coloração branca na superfície das amostras, sendo originado pelo contacto dos materiais com a solução de hipoclorito de sódio. Assim como nas amostras poliméricas, estes sais parecem fixos às amostras, visto que mostraram alguma resistência quando se efectuou uma tentativa de remoção, numa pequena zona da mesma.

Numa avaliação táctil, os dois tipos de madeira deixaram de apresentara uma viscosidade tão elevada como a verificada na primeira análise visual antes de serem secas, passando a

verificar-se um aspecto frágil. Como já foi referido, esta degradação deve-se ao ataque sofrido por desfibramento da madeira. A degradação apresentada foi uniforme, e as dimensões diminuíram mais significativamente na área coberta pela solução. Na figura 105, é possível observar as amostras de madeira após a secagem das mesmas.

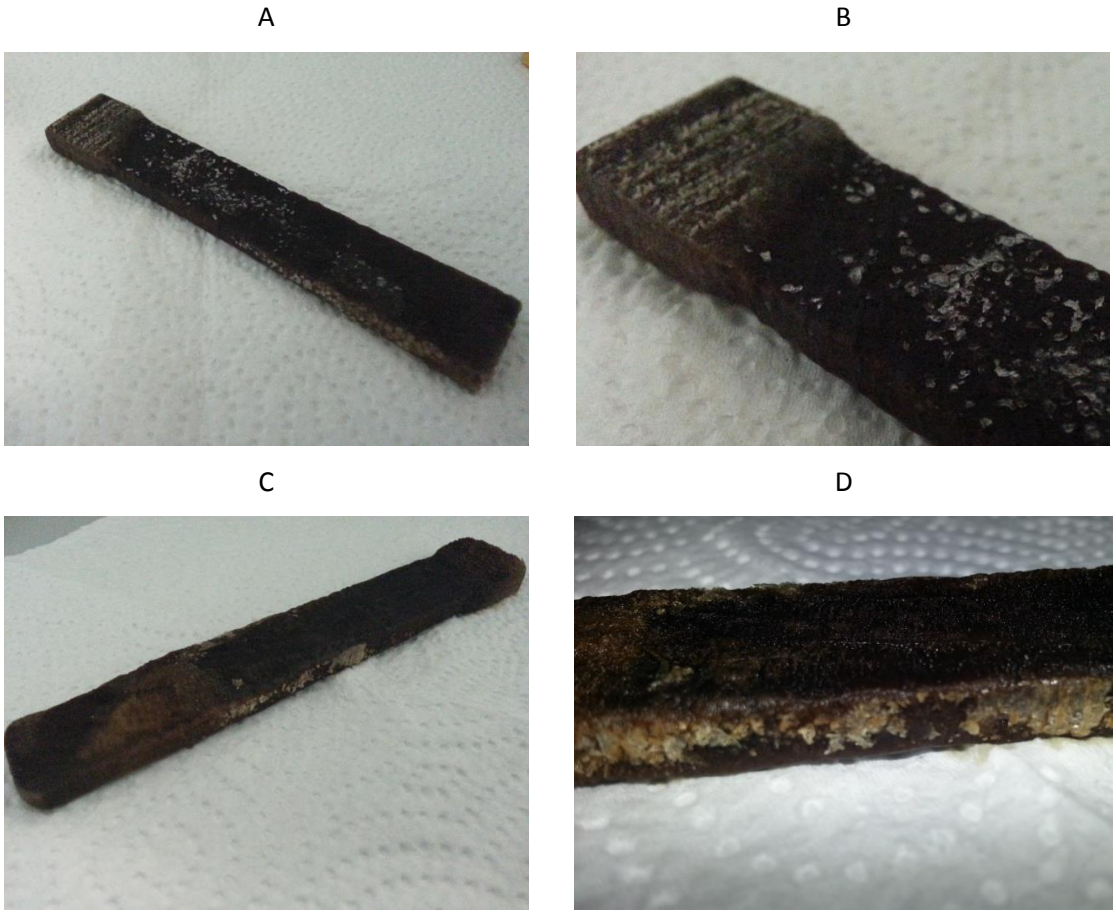


Figura 105 - Amostra seca e respectivo pormenor de Faia (A e B) e de carvalho (C e D)

3.8.3.3. Resultados obtidos após três semanas de imersão

Tactilmente, praticamente todas as amostras apresentavam-se secas. No entanto, as amostras de madeira submersas em maior concentração de NaClO apresentavam alguma percentagem de humidade, visto ser um material altamente higroscópico. Contudo, tendo em conta que o objectivo é simular uma situação real, e que todos os componentes de madeira em estudo estão muitas vezes em contacto com líquidos e em ambiente húmido, considerou-se aceitável o estado das amostras para proceder a uma nova pesagem, e determinar a variação de peso.

3.8.3.3.1. Resultados obtidos por variação de massa

Após a pesagem, todos os valores foram registados em tabelas, já referidas anteriormente, a fim de se proceder a uma avaliação por comparação de peso. Desta forma, foi possível verificar que foram distintos os fenómenos de variação de peso ocorridos nos materiais, devido à degradação. Nas tabelas 26 e 27 estão representadas as variações de peso obtidas em cada amostra, expressas em grama.

Tabela 26 - Perda de peso das amostras de dimensão 30mm X 20mm

Perda de peso dos materiais (g)								
Diluição	Materiais metálicos			Materiais poliméricos			Madeira	
	316L	321	Duplex	PVC	PEAD	PP	Faia	Carvalho
2%	-0,0023	-0,0044	-0,0047	0,0013	0,0086	0,0005	2,3030	3,0939
5%	-0,0024	-0,0064	-0,0049	0,0033	0,0079	0,0014	2,3056	3,0283
25%	-0,0017	-0,0224	-0,0064	0,0021	0,0052	0,0017	2,9737	2,9662
50%	-0,0044	-0,0130	-0,0037	0,0019	0,0056	0,0045	1,2507	1,7422
100%	-0,0176	-0,0582	-0,0074	0,0060	0,0129	0,0070	1,4307	1,9232

Tabela 27 - Perda de peso das amostras de dimensão 140mm X 20mm

Perda de peso dos materiais (g)								
Diluição	Materiais metálicos			Materiais poliméricos			Madeira	
	316L	321	Duplex	PVC	PEAD	PP	Faia	Carvalho
5%	-0,0645	-0,0630	-0,0209	0,0084	0,0096	0,0018	10,2806	13,6083
100%	-0,0761	-0,1198	-0,0232	0,0137	0,0158	0,0120	7,0715	5,9509

3.8.3.3.1.1. Comparação da variação de peso dos materiais metálicos

O gráfico 5 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de menor dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem, relaciona a variação de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente quais as amostras que tiveram maior variação de peso.

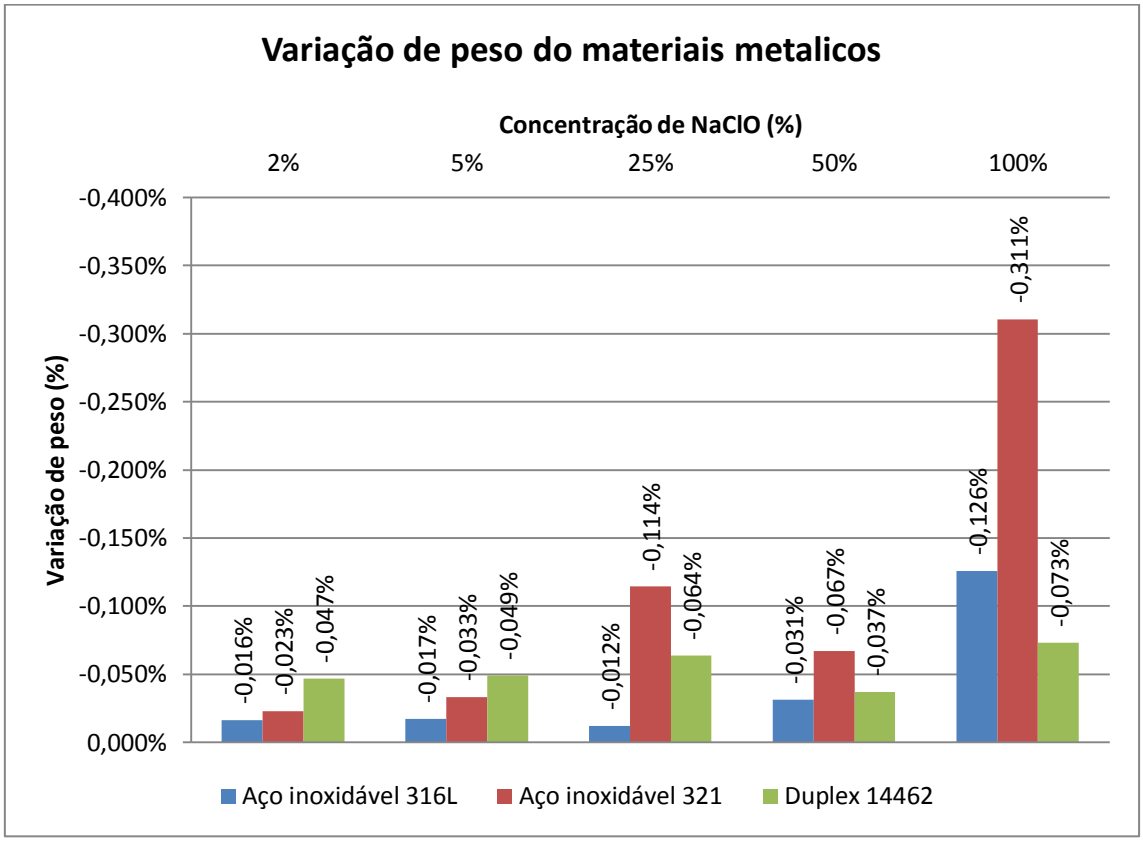


Gráfico 5 - Variação de peso das amostras de materiais metálicos de dimensão 30mm X 20mm

Analisando as amostras de aço inoxidável 316L, podemos verificar que o material sofreu perda de peso em todas as amostras, mantendo-se com valores próximos até à diluição de 25%, sofrendo uma perda brusca de peso nas diluições de 50% e 100% de hipoclorito de sódio. A perda de peso é causada pela perda de material devido ao ataque corrosivo, aumentando a sua variação, de uma forma geral, consoante o aumento da concentração de hipoclorito de sódio.

Analisando as amostras de aço inoxidável 321, podemos igualmente verificar que o material sofreu perda de peso em todas as amostras, causada pela perda de material devido ao ataque corrosivo. Verifica-se que a perda de massa aumenta, de uma forma geral, consoante o aumento da concentração de hipoclorito de sódio. No entanto, verifica-se um aumento brusco de perda de peso na diluição contendo 25% de hipoclorito de sódio, diminuindo na diluição de 50%. Este fenómeno pode ser justificado por a amostra se ter encontrado numa posição favorável para promover o ataque, visto que certas zonas das amostras se encontravam em contacto com os recipientes, diminuindo a concentração de oxigénio.

Analisando as amostras de Duplex 14462, podemos verificar que o material também sofreu perda de peso em todas as amostras. Assim como nos restantes materiais metálicos, a perda de peso é causada pela perda de material, provocado pelo ataque corrosivo. Verifica-se igualmente que a perda de peso aumenta, de uma forma geral, consoante o aumento da concentração de hipoclorito de sódio. No entanto, tal como no aço inoxidável 321, verifica-se um aumento brusco de perda de peso na diluição contendo 25% de hipoclorito de sódio, diminuindo na diluição de 50%. Assim como no aço inoxidável 321, este fenómeno pode ser justificado por a amostra se ter encontrado numa posição favorável para promover o ataque, visto que certas zonas das amostras se encontravam em contacto com os recipientes, diminuindo a concentração de oxigénio.

Analisando o gráfico de uma forma geral, podemos concluir que todas as amostras metálicas sofreram perda de peso. No entanto, as amostras de aço inoxidável 316L e de aço inoxidável 321 perderam menos peso que as amostras de Duplex 14462, nas diluições de 2% e 5%. Na diluição de 25%, observamos uma perda brusca de peso da amostra aço inoxidável 321 (á qual já foi dada uma possível justificação), quando comparado com as amostras de aço inoxidável 316L e de aço inoxidável 321, que mantiveram alguma coerência. Nas soluções contendo 50% e 100% de hipoclorito de sódio, observamos que as amostras de Duplex 14462 mantem valores com pouca variação de perda de peso quando comparado com as diluições iniciais, enquanto as amostras aço inoxidável 316L e de aço inoxidável 321, aumentam significativamente a perda de peso. Podemos concluir que, em soluções contendo um teor de cloro baixo, os resultados obtidos são sensivelmente semelhantes nas três amostras. Pelo contrário, em diluições contendo um teor de cloro elevado, podemos observar que a amostra Duplex 14462 reage melhor ao ataque corrosivo provocado pela solução, visto ter uma menor perda de peso, quando comparado com as restantes amostras, identificando a amostra aço inoxidável 321 como a que pior reage á solução, visto que apresenta uma maior perda de peso, quando comparado às restantes amostras. Podemos concluir também, que a perda de peso torna-se maior conforme a concentração de hipoclorito de sódio aumenta.

O gráfico 6 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de maior dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem, relaciona a variação de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente quais as amostras que tiveram maior perda de peso.

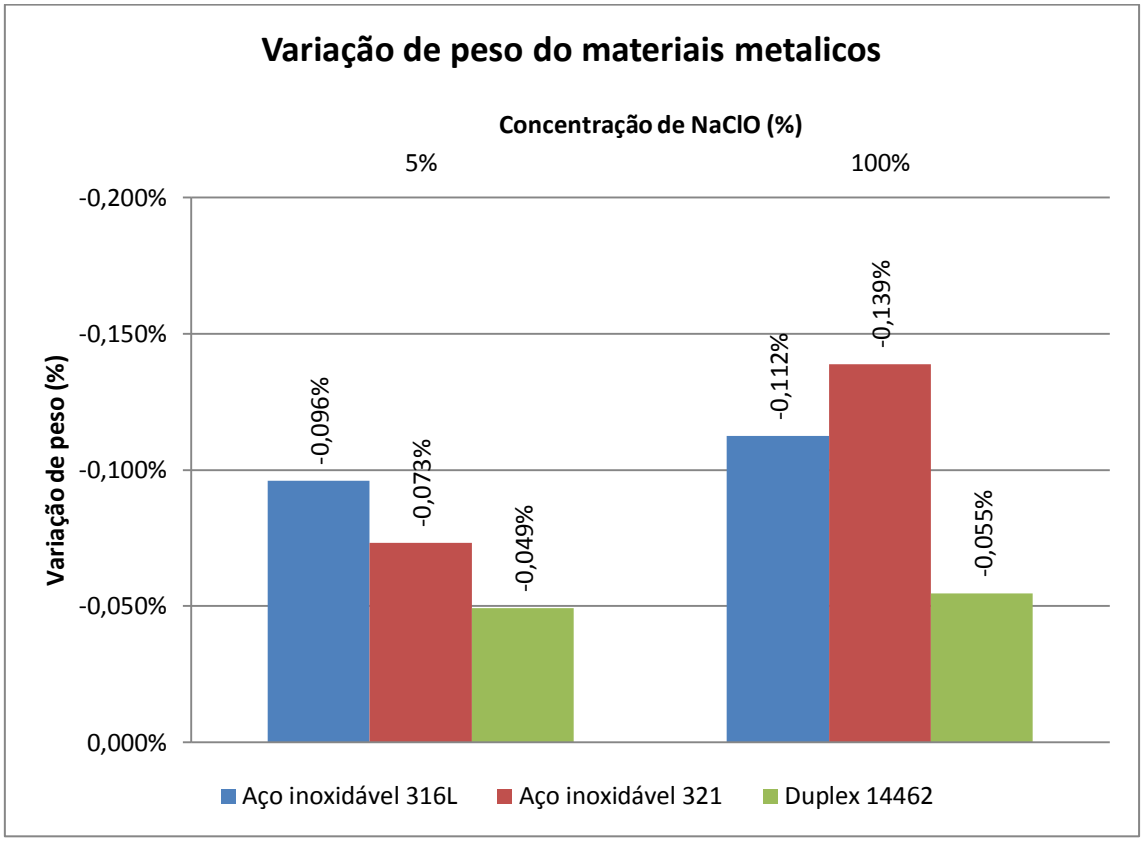


Gráfico 6 - Variação de peso das amostras de materiais metálicos de dimensão 140mm X 20mm

Analisando as amostras de aço inoxidável 316L, aço inoxidável 321 e Duplex 14462, podemos verificar que o material sofreu perda de peso em todas as amostras. Assim como nas amostras de menor dimensão, pode-se verificar que houve maior perda de peso na amostra que se encontra em contacto com a concentração de hipoclorito de sódio mais elevada, significando que o ataque corrosivo foi mais forte, originando maior perda de material.

Analisando o gráfico de uma forma geral, e apesar destas amostras possuírem dimensões e pesos significativamente superiores às amostras referidos no gráfico anterior, podemos concluir que todas as amostras metálicas sofreram perda de peso, visto que os materiais são idênticos. No entanto, podemos observar que a amostra Duplex 14462 apresenta uma menor variação de perda de peso, quando comparado com as restantes amostras, independentemente da concentração de hipoclorito de sódio utilizada. Pode-se ainda concluir, que a amostra de Duplex 14462 reagiu melhor ao contacto com as soluções de hipoclorito de sódio. Pelo contrário, na solução contendo 5% de hipoclorito de sódio, verifica-se uma menor perda de material na amostra aço inoxidável 321 quando comparado com a amostra de aço inoxidável 316L, verificando-se o contrário na solução contendo 100% de hipoclorito de sódio,

significando que o aço inoxidável 321 reagiu melhor à concentração mais baixa, e que o aço inoxidável 316L reagiu melhor à concentração mais elevada.

3.8.3.3.1.2. Comparação da variação de peso dos materiais poliméricos

O gráfico 7 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de menor dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem, relaciona a variação de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente quais as amostras que tiveram maior variação de peso.

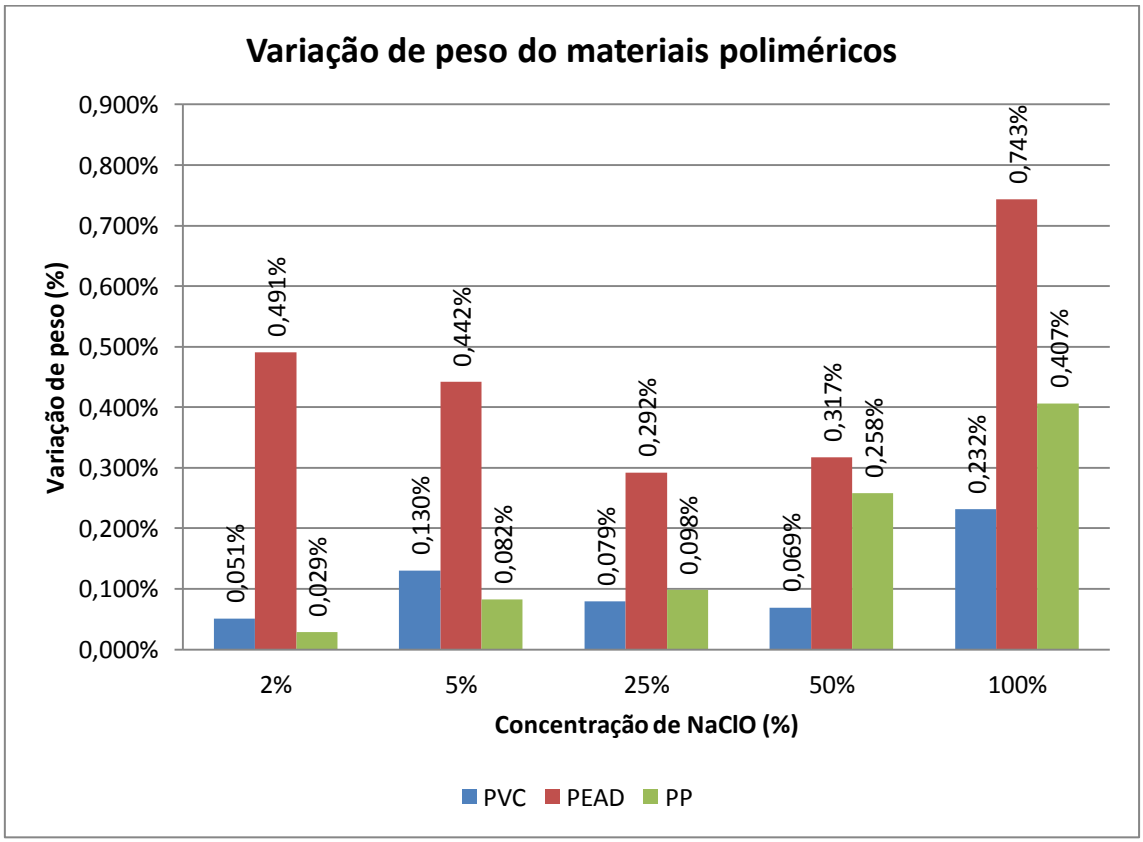


Gráfico 7 - Variação de peso das amostras de materiais poliméricos de dimensão 30mm X 20mm

Analisando as amostras de PVC, podemos verificar que o material sofreu um aumento de peso em todas as amostras. O aumento de peso é causado pela absorção de fluido por parte do material, sendo como já foi referido, um fenómeno típico dos materiais poliméricos, podendo causar diversos tipos de degradação. De uma forma geral, podemos observar que os valores de variação de peso se mantem próximos nas diluições de 2%, 25%, 50%, aumentando bruscamente na concentração de 100% de hipoclorito de sódio. No entanto, verifica-se um

aumento brusco na diluição de 5%. Este fenómeno pode ser justificado por a amostra se ter encontrado numa zona favorável para ocorrer absorção.

Analisando as amostras de PEAD, podemos verificar que o material teve diversos comportamentos de peso, consoante a diluição em que se encontra submersa. Todas as amostras sofreram aumento de peso, sendo, como nos restantes materiais, causado pela absorção de fluido por parte do material, podendo causar diversos tipos de degradação. De uma forma geral, podemos observar que os valores de variação de peso diminuem permanentemente até a diluição de 25% de hipoclorito de sódio, aumentando ligeiramente na diluição de 50%. A variação de peso mais elevada verifica-se na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, apresentando um valor incomparável a qualquer outra diluição em estudo deste material.

Analisando as amostras de PP, podemos verificar que o material sofreu um aumento de peso em todas as amostras. Assim como no PVC e PEAD, o aumento de peso é causado pela absorção de fluido por parte do material, sendo como já foi referido, um fenómeno típico dos materiais poliméricos, podendo causar diversos tipos de degradação. De uma forma geral, podemos observar que os valores de variação de peso aumentam constantemente, sendo mais baixo na diluição de 2% e mais elevada na concentração de 100% de hipoclorito de sódio. Podemos então concluir que, de uma forma geral, a variação de peso aumenta conforme a concentração de hipoclorito de sódio aumenta, variando bruscamente na concentração de 100%.

Analisando o gráfico de uma forma geral, podemos concluir que todas as amostras poliméricas sofreram aumento de peso. No entanto, as amostras de PVC e PP aumentaram bastante menos o peso, quando comparado à amostra PEAD, nas diluições de 2% 5%, 25% e 50%. As amostras PVC e PP, mantiveram alguma coerência até a diluição de 50%, existindo um aumento significativo de peso nas amostras de PP, de forma regular, até a concentração de 100%. Podemos concluir que, em soluções contendo um teor de cloro até 25%, os resultados obtidos são sensivelmente semelhantes nas amostras PVC e PP, quando comparado com a amostra de PEAD. Pelo contrário, em diluições contendo um teor de 50% e 100%, podemos observar que a amostra PVC reage melhor ao ataque provocado pela solução, visto ter uma menor variação de peso, quando comparado com as restantes amostras, identificando a amostra PEAD, como a que pior reage á solução, visto que apresenta uma variação de peso maior quando comparado com as restantes amostras. Podemos concluir também, que o aumento de peso aumenta, conforme o aumento de concentração de hipoclorito de sódio.

O gráfico 8 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de maior dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem, relaciona a variação de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente quais as amostras que tiveram maior perda de peso.

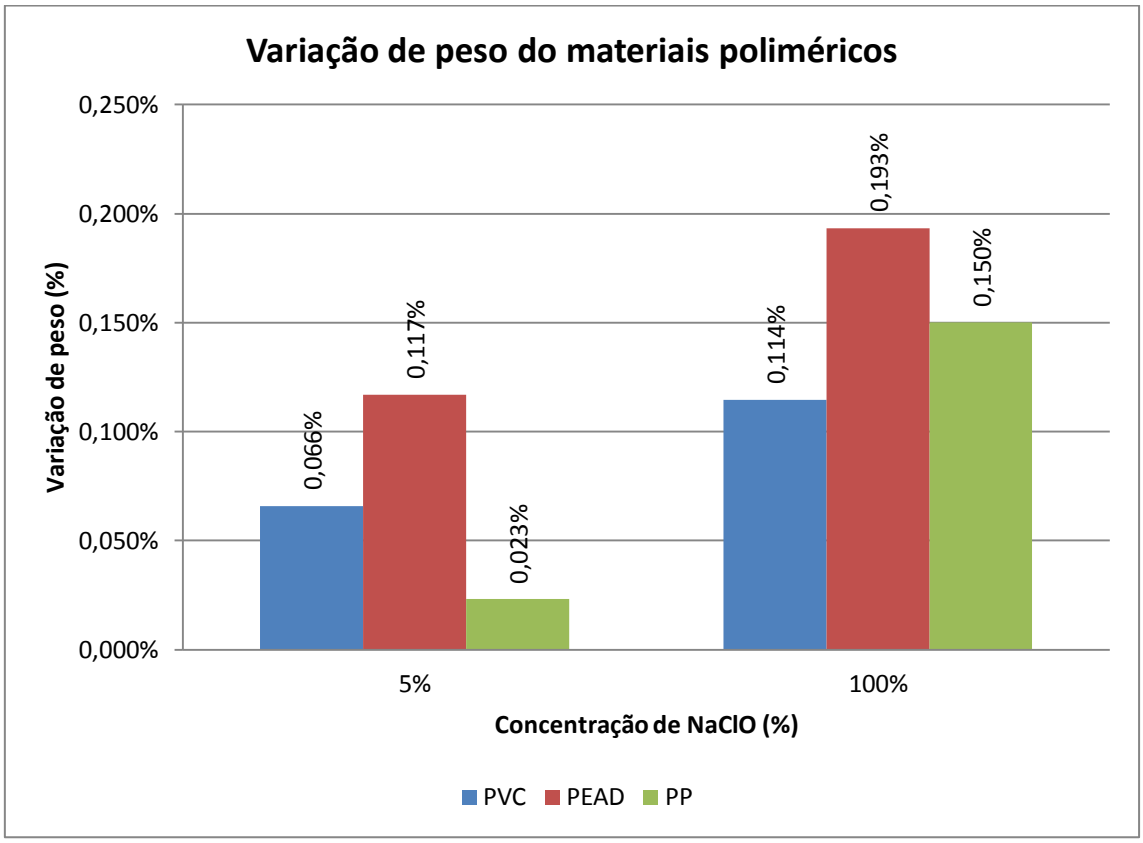


Gráfico 8 - Variação de peso das amostras de materiais poliméricos de dimensão 140mm X 20mm

Analisando as amostras de PVC, PEAD e PP, podemos verificar que todas as amostras sofreram aumento de peso. Assim como nas amostras de menor dimensão, pode-se verificar que houve maior aumento de peso na amostra que se encontra em contacto com a concentração de hipoclorito de sódio mais elevada, significando que a absorção foi maior, indicando provavelmente uma maior possibilidade de degradação.

De uma forma geral, e apesar destas amostras possuírem dimensões e pesos significativamente superiores às amostras referidas no gráfico anterior, os materiais são idênticos. No entanto, podemos observar que a amostra PEAD teve uma maior variação de perda de peso, quando comparado com as restantes amostras, independentemente da

concentração de hipoclorito de sódio utilizada. Pode-se concluir que, a amostra de PEAD foi a que pior reagiu ao contacto com as soluções de hipoclorito de sódio. Pelo contrário, na solução contendo 5% de hipoclorito de sódio, verifica-se uma menor perda de material na amostra PP, quando comparado com a amostra PVC, verificando-se o oposto na solução contendo 100% de hipoclorito de sódio.

3.8.3.3.1.3. Comparação da variação de peso da madeira

O gráfico 9 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de menor dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem, relaciona a variação de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente quais as amostras que tiveram maior variação de peso.

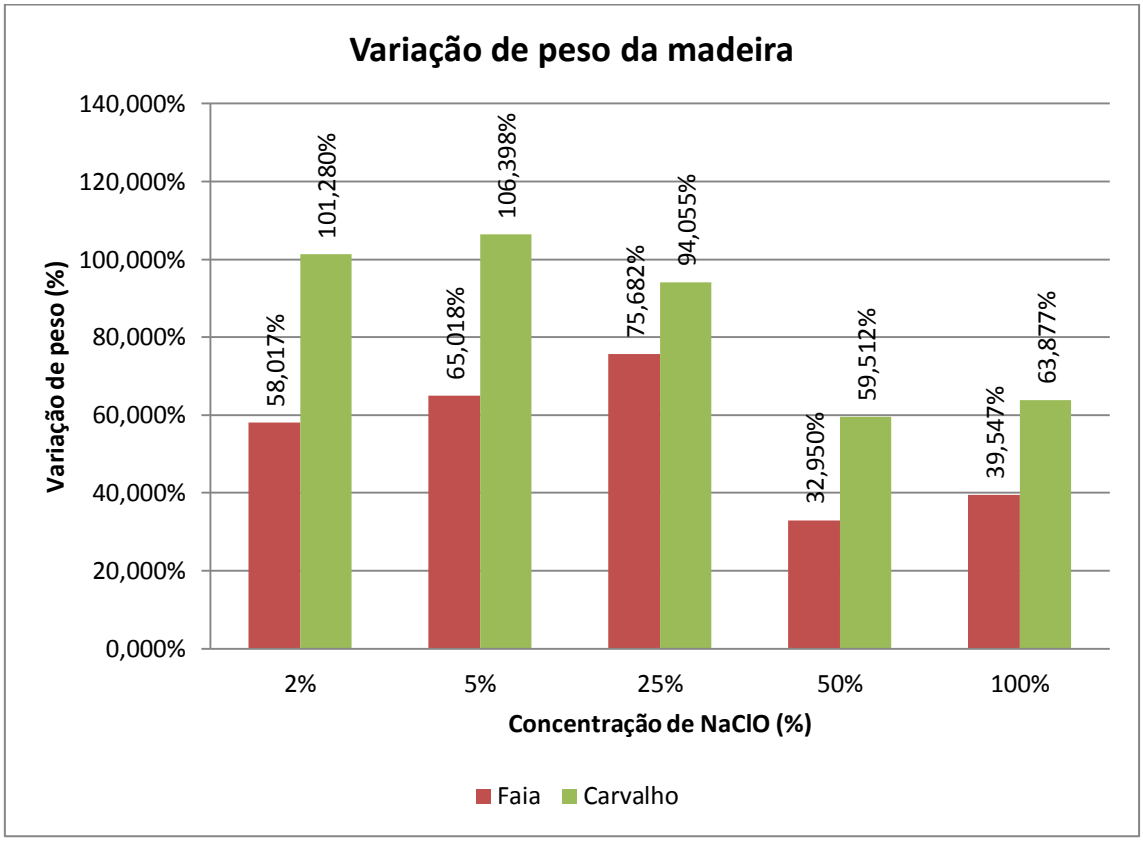


Gráfico 9 - Variação de peso das amostras de madeira de dimensão 30mm X 20mm

Analisando as amostras de Faia, podemos verificar que o material sofreu um aumento de peso em todas as amostras. O aumento de peso é causado pela absorção de líquido por parte do material, aumentando de uma forma geral, consoante o aumento da concentração de hipoclorito de sódio. No gráfico, podemos verificar um aumento constante do aumento de

peso entre as amostras contendo diluições de 2%, 5% e 25% de hipoclorito de sódio. No entanto, verifica-se um diminuição brusca na diluição contendo 50% de NaClO, aumentando ligeiramente na solução de 100%. Este fenómeno pode ser justificado por as amostras contendo 50% e 100% de hipoclorito de sódio terem sofrido um ataque corrosivo mais intenso, ou seja, houve absorção de fluido. Contudo, como já foi referido anteriormente, houve igualmente uma elevada perda de material, na qual a relação entre estes dois factores provocou uma variação de peso menor, quando comparado com as restantes amostras.

Analisando as amostras de Carvalho, podemos verificar que o material sofreu igualmente um aumento de peso em todas as amostras. Assim como no caso da madeira de Faia, o aumento de peso é causado pela absorção de fluido por parte do material, aumentando de uma forma geral consoante o aumento da concentração de hipoclorito de sódio. No gráfico 9, podemos verificar um aumento de peso linear entre as amostras submersas nas diluições contendo 2% e 5% de hipoclorito de sódio, diminuindo intensamente nas diluições de 25% e 50%. Na concentração de 100% de Hipoclorito de sódio, verifica-se novamente um leve aumento de peso. Assim como na Madeira de faia, este fenómeno pode ser justificado por as amostras contendo 25%, 50% e 100% de hipoclorito de sódio terem sofrido um ataque corrosivo mais intenso, ou seja, houve absorção de fluido, mas como já foi referido anteriormente, houve igualmente uma elevada perda de material, na qual a relação entre estes dois factores provocou uma variação de peso menor, quando comparado com as restantes amostras.

Analisando o gráfico de uma forma geral, podemos concluir que todas as amostras de madeira sofreram aumento de peso. No entanto, as amostras de Faia sofreram uma variação de peso menor que as amostras Carvalho, sendo ambas comparadas nas mesmas concentrações. Comparando estes dois materiais, podemos verificar que as amostras Faia sofrem um aumento significativo de perda de material a partir da concentração de 25% e 50% de hipoclorito de sódio, enquanto na amostra Carvalho, a perda de material inicia entre a concentração de 5% e 25%. Podemos concluir que em soluções contendo um teor de cloro até 25%, a madeira de Faia mantem um comportamento linear, enquanto a madeira de Carvalho varia constantemente o seu comportamento consoante a concentração utilizada.

O gráfico 10 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de maior dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem, relaciona a variação de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente quais as amostras que tiveram maior variação de peso.

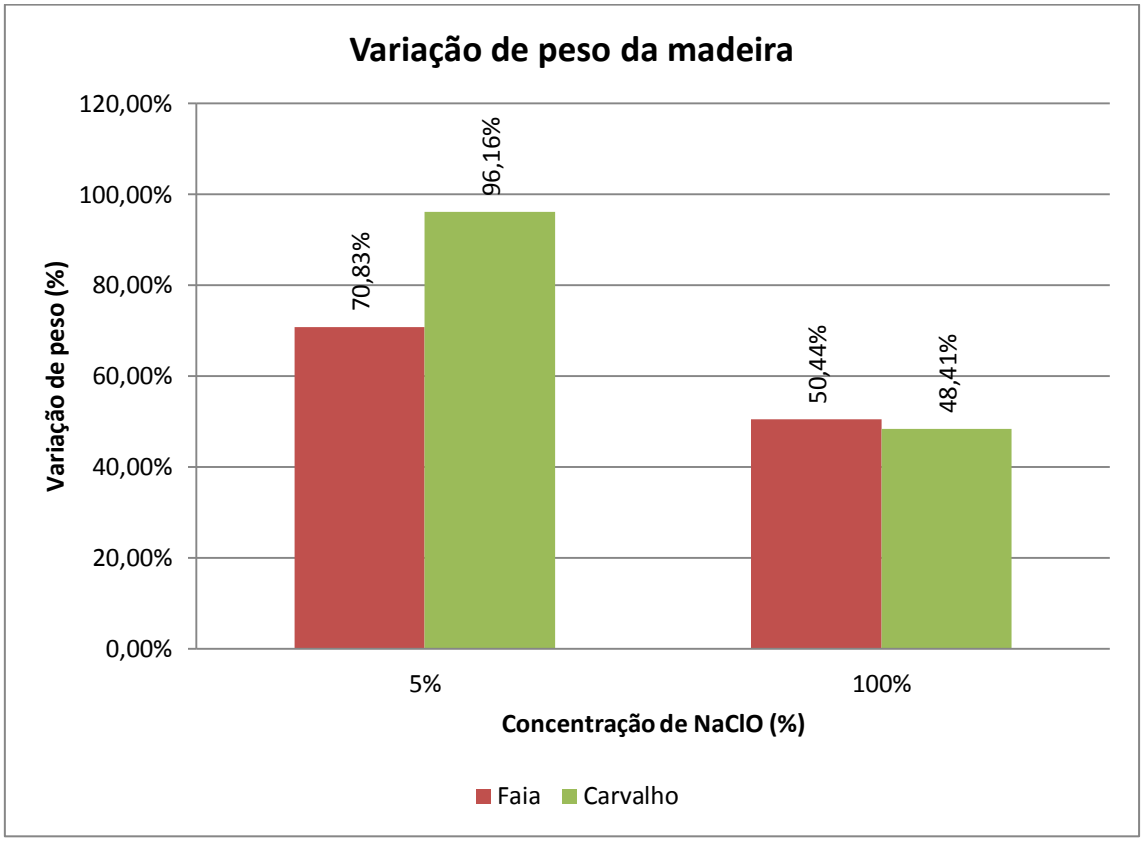


Gráfico 10 - Variação de peso das amostras de madeira de dimensão 140mm X 20mm

Analisando as amostras de Faia e Carvalho, podemos verificar que as duas amostras sofreram aumento de peso. Assim como nas amostras de menor dimensão, pode-se verificar que houve uma menor variação de peso na amostra que se encontra em contacto com a concentração de hipoclorito de sódio de 100%. Assim como nas amostras de menor dimensão, o facto do da variação de peso ter diminuído na concentração de 100%, deve-se a elevada perda de material provocada pelo ataque do hipoclorito de sódio.

De uma forma geral, e apesar destas amostras possuírem dimensões e pesos significativamente superiores as amostras referidos no gráfico anterior, os materiais são idênticos. No entanto, podemos observar que a amostra de Carvalho apresenta uma maior variação de perda de peso. Na concentração de 5% de hipoclorito de sódio, observa-se uma diferença de peso significativa entre os dois materiais, sendo mais elevada na amostra de carvalho. Pelo contrário, na amostra de 100%, a diferença de peso dos dois materiais aproximam-se, sendo mesmo ligeiramente menor na amostra de carvalho. Assim como nas amostras de menor dimensão, dos mesmos materiais, pode-se concluir que o de Carvalho foi o que pior reagiu ao contacto com as soluções de hipoclorito de sódio, sendo o material que sofreu uma variação de peso mais elevada.

3.8.3.3.2. Resultados obtidos por análise de microscopia óptica

Para a análise dos materiais em estudo, foram utilizados aumentos de cinquenta vezes (x50) e cem vezes (x100), para os materiais metálicos. Para os materiais poliméricos, foram utilizados aumentos de cem vezes (x100) e duzentas vezes (x200). De forma a ser possível observar a variação de degradação do material., foram analisadas duas amostras de cada tipo de material metálico e polimérico, imersas em soluções contendo 2% e 100% de hipoclorito de sódio, conforme se pode verificar de uma forma mais simples nas tabelas 28 e 29.

Tabela 28 - Concentração de NaClO e aumentos utilizados para análise dos materiais metálicos

Materiais metálicos		
Amostra	2% NaClO	100% NaClO
1	X 50	X 100
2	X 50	X 100

Tabela 29 - Concentração de NaClO e aumentos utilizados para análise dos materiais poliméricos

Materiais poliméricos		
Amostra	2% NaClO	100% NaClO
1	X 100	X 200
2	X 100	X 200

Nas amostras de madeira, não foi possível realizar qualquer tipo de análise através de microscópia óptica, devido a elevada irregularidade da superfície apresentada.

3.8.3.3.2.1. Aço inoxidável 316L

A figura 106 representa a amostra de aço inoxidável 316L, sem ter estado em contacto algum com a solução de hipoclorito de sódio. Esta figura é de extrema importância, visto que será utilizada como modelo de comparação na avaliação das amostras de aço inoxidável 316L submersas em NaClO. A amostra de aço inoxidável 316L encontrava-se coberta por uma pelicula protectora, evitando assim qualquer contaminação exterior ou riscos provocados pelo contacto com outros materiais. Na imagem seguinte, é possível observar os grãos da amostra, sendo igualmente possível verificar a ausência de degradação na amostra.

Figura 106 - Imagem M.O. da amostra de aço inoxidável 316L não submersa em concentração de NaClO com aumento x50

As análises realizadas através de microscopia óptica (MO), são referentes às amostras de aço inoxidável 316L após ensaio de imersão, com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100% apresentadas na figura 107.

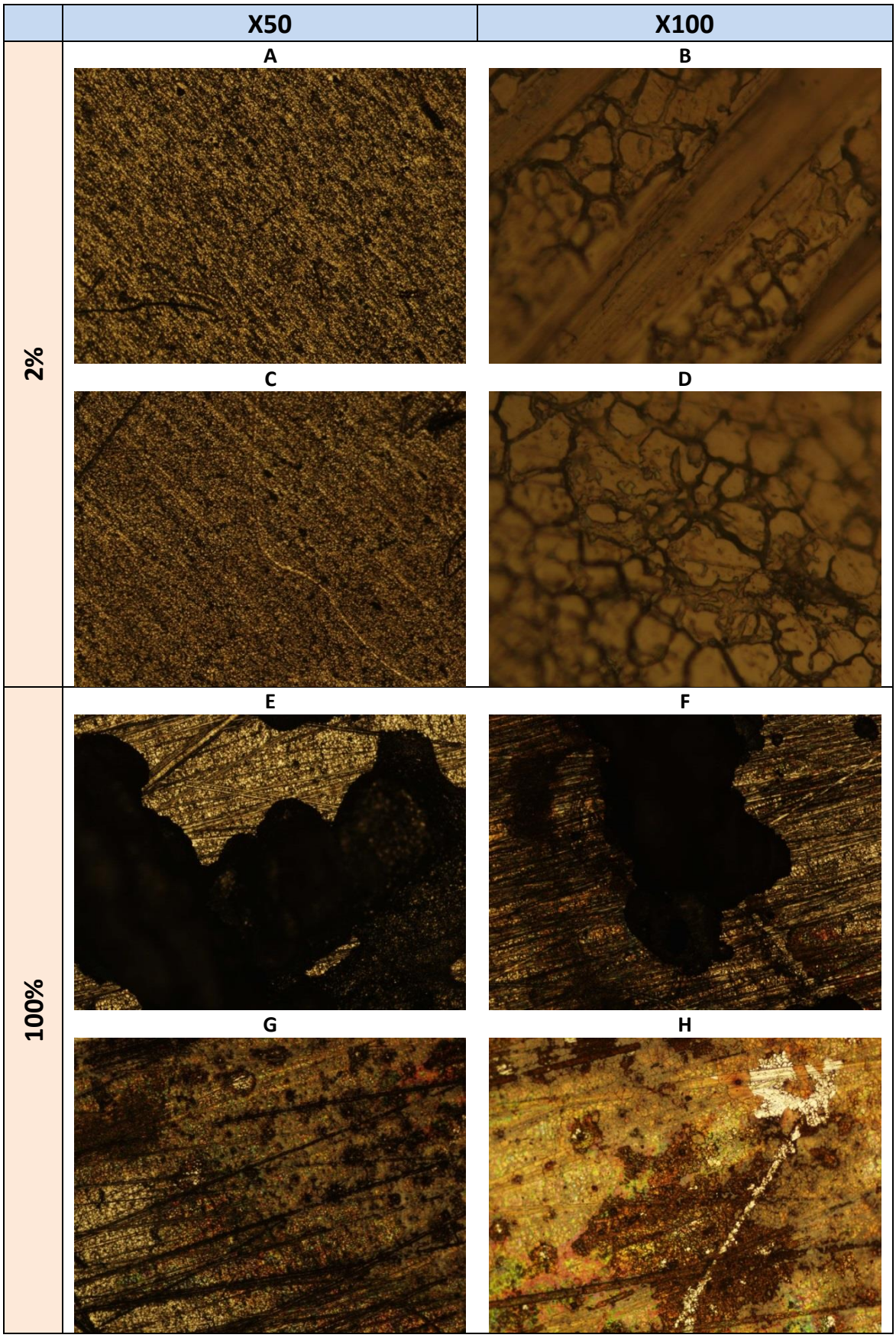


Figura 107 - Imagem de microscopia óptica X50 e X100 das amostras de Aço inoxidável 316L submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 semanas de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento de X50, na qual podemos observar algumas linhas que poderão ter sido marcadas durante a etapa de limpeza. Contudo, pode-se verificar na imagem C alguns pontos negros, que podem corresponder a uma região com corrosão. As imagens B e D, foram conseguidas com um aumento X100, nas quais é possível observar degradação no contorno dos grãos, significando possíveis zonas de corrosão. Podemos também observar mais detalhadamente na figura B, as linhas observadas e referidas na imagem C. De uma forma geral, através deste método de avaliação, podemos concluir que esta amostra não apresenta um nível elevado de corrosão, confirmando a análise visual anteriormente realizada.

100% de NaClO

A imagem E e G foram conseguidas com um aumento X50, e as imagens F e H com um aumento X100, nas quais podemos observar algumas linhas semelhantes às referidas nas imagens anteriores, que poderão ter sido igualmente marcadas na etapa de limpeza da amostra. Contudo, nas imagens E, F, G e H, nota-se uma quantidade maior de áreas escuras, assim como dimensões superiores das mesmas, quando comparado com a amostra submersa na diluição de 2% de NaClO. Podemos então afirmar que a amostra submersa na concentração de 100% de NaClO apresenta um nível mais elevado de corrosão, quando comparado à amostra submersa na concentração de 2% de NaClO. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise visual, foi confirmada pela análise de microscopia óptica (MO), assim como pela variação de massa conforme se pode verificar nos gráficos anteriormente apresentados. Algumas zonas mais claras poderão igualmente corresponder a possíveis impurezas superficiais, dificultando desta forma a interpretação dos resultados obtidos.

Na imagem H, podemos observar zonas com coloração rosa e verde, que poderão possivelmente indicar a presença de sais de hipoclorito de sódio na amostra, realçando essa coloração devido a luz emitida pelo microscópio.

Um facto interessante pode ser verificado na amostra submersa na concentração de 100% de NaClO, na qual se pode verificar a existência de corrosão sob a forma de picadas. A área de maior dimensão com coloração negra apresentada nas imagens E e F, mostra uma zona da amostra com um estado avançado de degradação, possivelmente iniciada numa pequena picada, atingindo de seguida elevadas dimensões, quer a nível de área, como de profundidade.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado, comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 107, com a imagem da amostra padrão da figura 106. No caso do aço inoxidável 316L, é possível distinguir-se com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração utilizada.

3.8.3.3.2.2. Aço inoxidável 321

Antes de serem submetidas ao ensaio de imersão, as amostras de aço inoxidável 321 encontravam-se em ambiente atmosférico, estando assim propicias a qualquer contaminação exterior, ou riscos provocados pelo contacto com outros materiais. Na figura 108, é possível observar zonas de coloração branca, nas quais se verifica a ausência de degradação, assim como zonas de coloração escura, correspondendo à topografia da amostra, assim como provavelmente à presença de alguns óxidos.

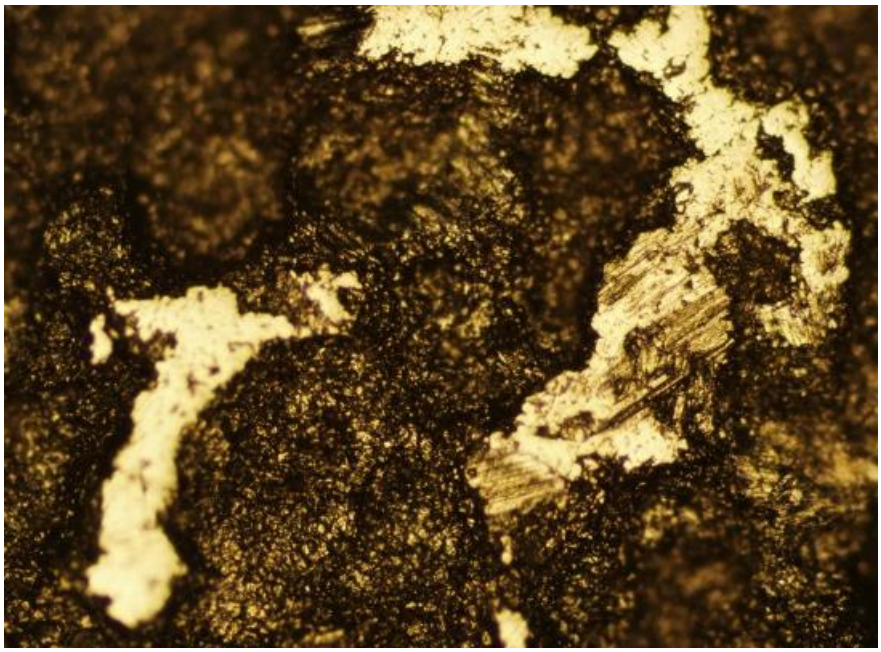


Figura 108 - Imagem M.O. da amostra de aço inoxidável 321 não submersa em concentração de NaClO com aumento x100

As análises realizadas através de microscopia óptica (MO), são referentes às amostras de aço inoxidável 321 após ensaio de imersão, com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100%, apresentadas na figura 109.

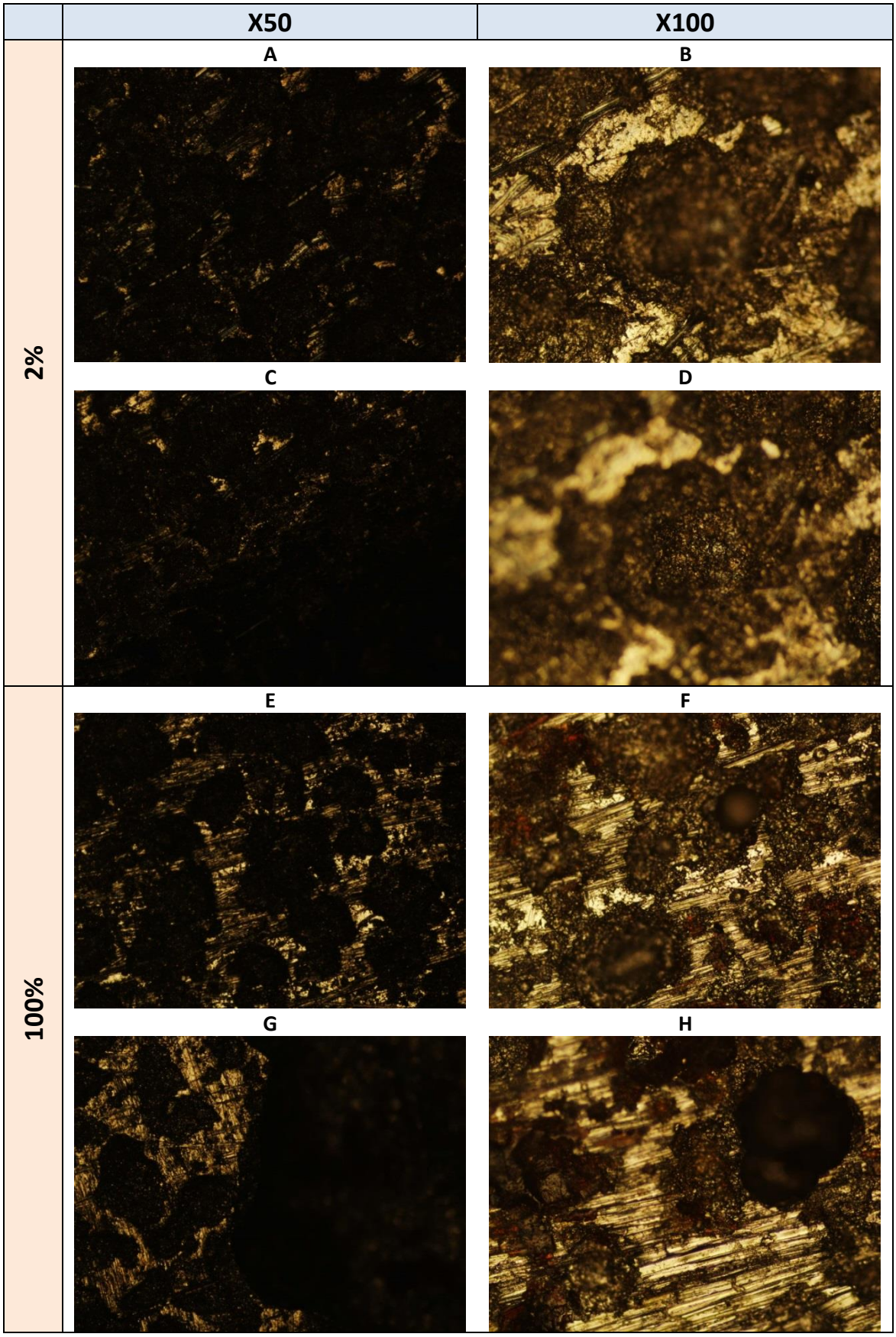


Figura 109 - Imagem de microscopia óptica X50 e X100 das amostras de Aço inoxidável 321 submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 semanas de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento X50, na qual podemos observar áreas escuras de forma circular, que poderão representar zonas degradadas. Contudo, pode-se verificar algumas zonas claras, que podem corresponder a regiões menos degradadas. As imagens B e D foram conseguidas com um aumento X100, nas quais é possível observar uma mancha escura com maior intensidade, localizada no centro das mesmas, podendo corresponder a uma área de ataque com maior intensidade, visto que a imagem mostra uma profundidade maior, quando comparado com as restantes manchas. Algumas zonas mais claras poderão igualmente corresponder a possíveis impurezas superficiais, dificultando desta forma a interpretação dos resultados obtidos.

100% de NaClO

As imagens E e G foram conseguidas com um aumento X50, e as imagens F e H com um aumento X100, nas quais podemos observar áreas escuras de forma circular que poderão representar zonas de corrosão. Contudo, pode-se verificar algumas zonas claras que podem corresponder a regiões menos corroídas. O facto das áreas escuras se distinguirem bastante das áreas com tons mais claros, deve-se a severidade do ataque corrosivo, visto ser mais forte quando comparado com a amostra submersa na concentração de 2% de NaClO, causando zonas circulares de maior profundidade. Nas figuras E, F, G e H, nota-se uma quantidade elevada de áreas escuras, algumas delas com tonalidade irregular. Podemos afirmar que a amostra submersa na concentração de 100% de NaClO apresenta um nível mais elevado de corrosão que a amostra submersa numa concentração de 2%. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise visual, foi confirmada pela análise de microscopia óptica (MO), assim como pela variação de massa conforme se pode verificar nos gráficos anteriormente apresentados.

Um facto interessante pode ser verificado acertadamente na amostra submersa numa concentração de 100% de NaClO, na qual podemos verificar que existe corrosão sob a forma de picadas. A área de maior dimensão de coloração negra apresentada nas imagens F e H, mostra uma zona da amostra com um estado avançado de degradação, possivelmente iniciada numa pequena picada, atingindo de seguida elevadas dimensões, quer a nível de área, assim como de profundidade.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 109 com a imagem da amostra padrão da figura 108. No caso do aço inoxidável 321, é possível distinguir-

se com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração, apesar da amostra padrão apresentar alguma semelhança aparente, quando comparado com as amostras submersas nas soluções.

3.8.3.3.2.3. Duplex 14462

Antes de serem submetidas ao ensaio de imersão, as amostras de Duplex 14462 encontravam-se em ambiente atmosférico, estando assim propicio a qualquer contaminação exterior ou riscos provocados pelo contacto com outros materiais. Na figura 110, é possível observar zonas de coloração branca, nas quais se verifica a ausência de degradação, assim como zonas de coloração escura, correspondendo à topografia da amostra, contendo provavelmente a presença de alguns óxidos.

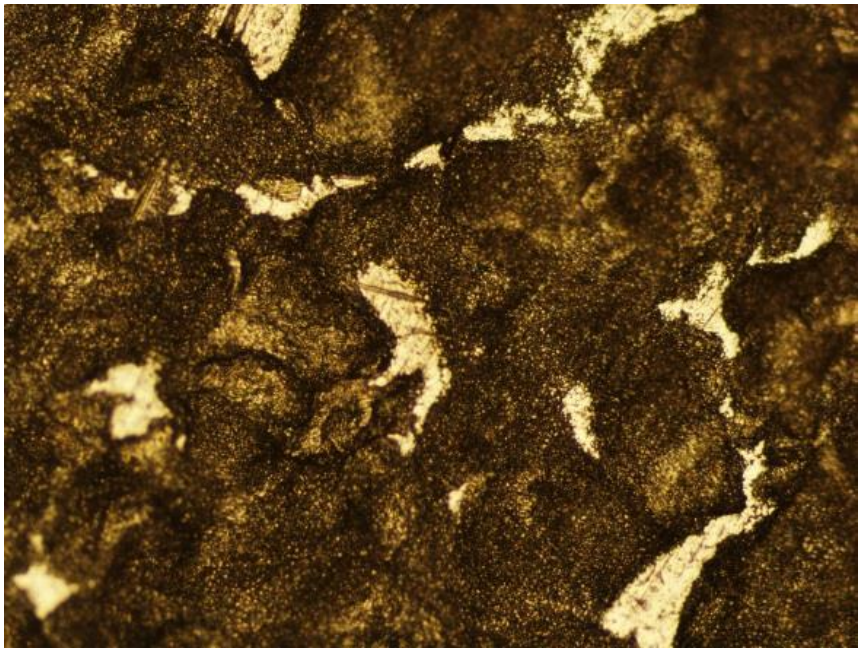


Figura 110 - Imagem M.O. da amostra de Duplex 14462 não submersa em concentração de NaClO com aumento x100

As análises realizadas através de microscopia óptica (MO), são referentes às amostras de Duplex 14462, após ensaio de imersão com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100% apresentadas na figura 111.

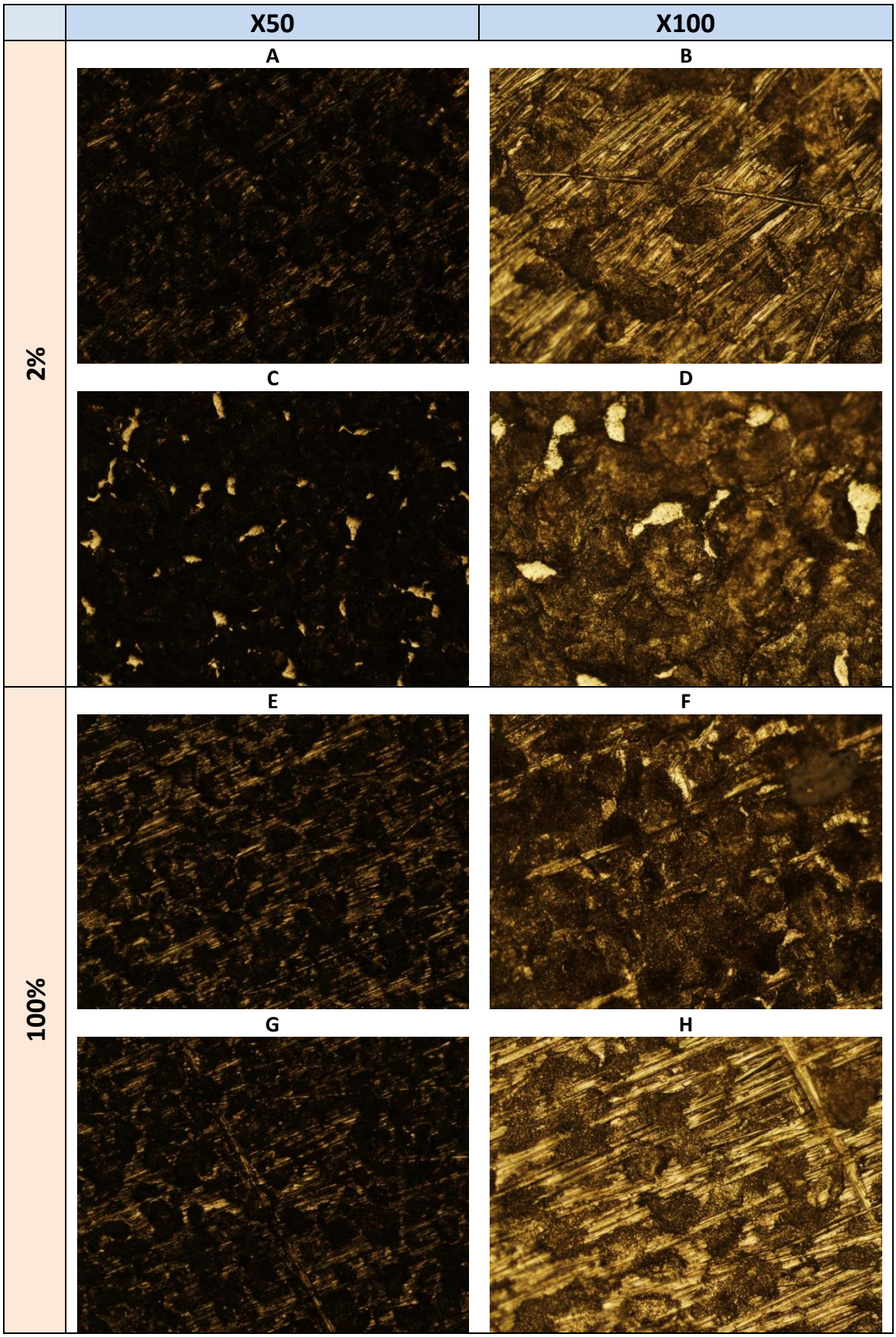


Figura 111 - Imagem de microscopia óptica X50 e X100 das amostras de Duplex 14462 submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 semanas de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento X50, na qual podemos observar áreas escuras de forma circular em toda a imagem, que poderão representar zonas de degradação. Contudo, pode-se verificar algumas zonas claras, que podem corresponder a regiões menos degradadas. As imagens B e D, foram conseguidas com um aumento X100, nas quais podemos observar algumas linhas que poderão ter sido marcadas na etapa de limpeza, ou de processamento da amostra. Podemos também observar mais detalhadamente a presença de áreas circulares, possivelmente oxidadas, provocadas pelo ataque. Algumas zonas mais claras poderão igualmente corresponder a possíveis impurezas superficiais, dificultando desta forma a interpretação dos resultados obtidos.

100% de NaClO

As imagens E e G foram conseguidas com um aumento X50, e as imagens F e H com um aumento X100, nas quais podemos observar algumas linhas semelhantes às referidas nas imagens A, B, C e D, que poderão ter sido igualmente marcadas na etapa de limpeza da amostra. Contudo, na amostra submersa em concentração de 100% de NaClO, nota-se uma quantidade maior de áreas escuras, quando comparado à amostra submersa na concentração de 2% de NaClO. Podemos então afirmar que a amostra submersa na concentração de 100% de NaClO apresenta um nível mais elevado de corrosão, quando comparado à amostra submersa na concentração de 2% de NaClO. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise visual, foi confirmada pela análise de microscopia óptica, assim como pela variação de massa, conforme se pode verificar nos gráficos anteriormente apresentados. Algumas zonas poderão igualmente corresponder a possíveis impurezas superficiais, dificultando desta forma a interpretação dos resultados obtidos.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado, comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 111 com a imagem da amostra padrão da figura 110. No caso do Duplex 14462, é possível distinguir-se com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração, apesar da amostra padrão apresentar alguma semelhança com as amostras submersas nas soluções.

3.8.3.3.2.4. PVC

Antes de serem submetidas ao ensaio de imersão, as amostras de PVC encontravam-se em ambiente atmosférico, estando desta forma propicio a qualquer contaminação exterior ou riscos, provocados pelo contacto com outros materiais. Na figura 112, é possível observar pequenos pontos negros, representando possivelmente a presença de reforços adicionado ao material de base. É igualmente possível observar linhas, possivelmente causados durante o processamento do material.

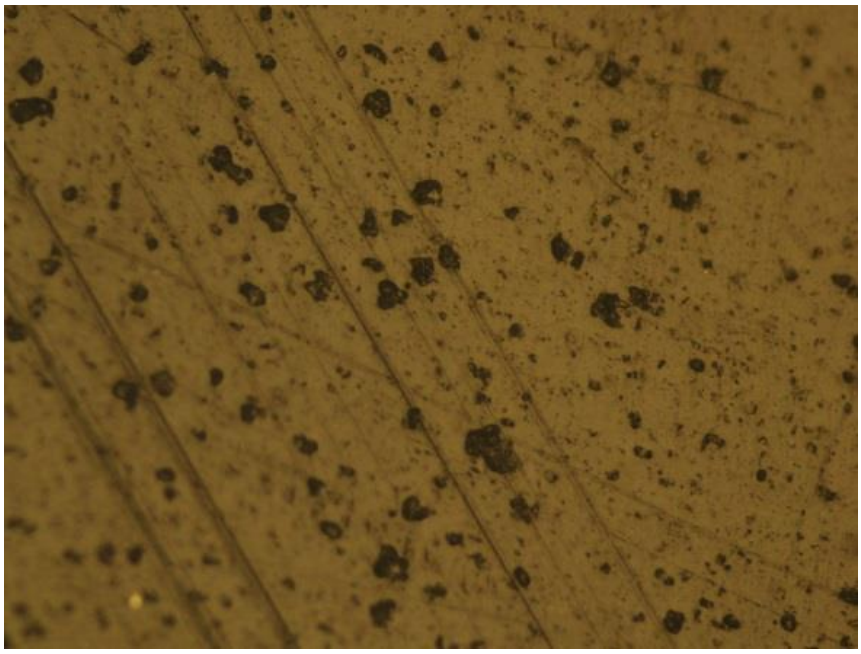


Figura 112 - Imagem M.O. da amostra de PVC não submersa em concentração de NaClO com aumento x100

As análises realizadas através de microscopia óptica, são referentes ao PVC após ensaio de imersão, com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100%, apresentadas na figura 113.

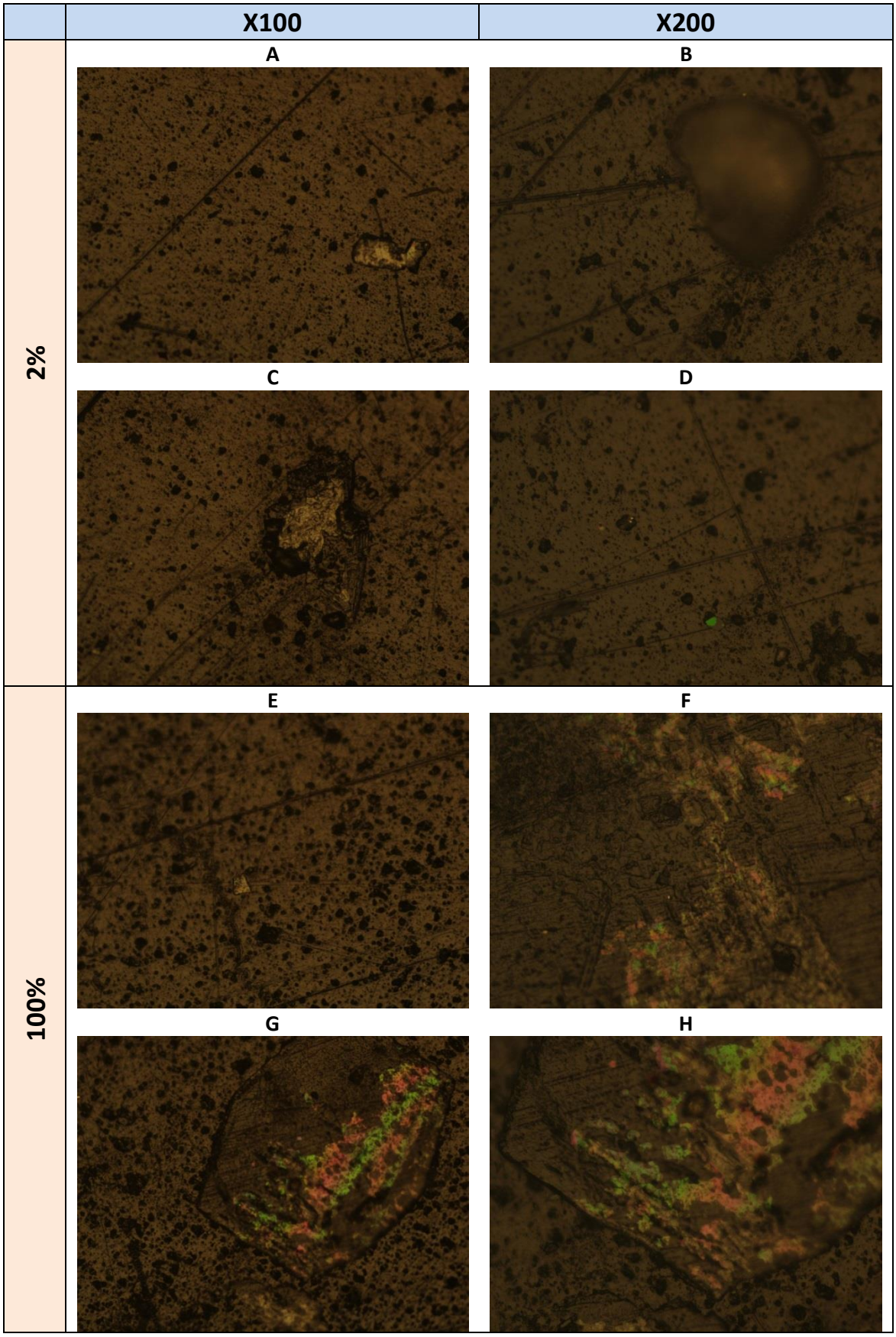


Figura 113 - Imagem de microscopia óptica X100 e X200 das amostras de PVC submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 semanas de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento X100, na qual podemos observar pontos escuros de forma circular. Verifica-se igualmente a presença de algumas áreas claras de forma irregular e de maior dimensão, que podem corresponder a regiões de ataque com maior intensidade. Contudo, o material contém reforços de cálcio, podendo também ser representado por pontos negros, tornando-se mais visíveis quantitativamente com o aumento da concentração de hipoclorito de sódio utilizada, indicando degradação do material. Também são visíveis algumas linhas, que podem corresponder a marcas feitas pelo contacto com outros materiais, ou mesmo durante o processamento do material. As imagens B e D, foram conseguidas com um aumento X200, nas quais é possível observar uma mancha escura mais intensa, como se pode verificar na imagem B, que pode corresponder a uma área de ataque com maior intensidade. Algumas zonas mais claras poderão igualmente corresponder a possíveis contaminações, dificultando desta forma a interpretação dos resultados obtidos.

100% de NaClO

As imagens E e G foram conseguidas com um aumento X100, e as imagens F e H com um aumento X200, nas quais podemos observar algumas linhas semelhantes às referidas nas imagens A, B, C e D, que poderão ter sido igualmente provocadas pelo contacto com outros materiais. Contudo, na amostra submersa em concentração de 100% de NaClO, nota-se uma quantidade maior de pontos escuros, quando comparado à amostra submersa em concentração de 2% de NaClO. Podemos então afirmar que a amostra submersa na concentração de 100% de NaClO apresenta um nível mais elevado de corrosão que a amostra submersa na concentração de 2% de NaClO. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise de variação de peso, podendo-se verificar nos gráficos anteriormente apresentados, foi confirmada pela análise de microscopia óptica.

Um facto interessante que pode ser verificado na amostra submersa na concentração de 100% de NaClO, traduz-se pela presença de áreas de maior dimensão e de forma anormal, conforme se pode observar nas imagens F, G e H, podendo corresponder a regiões de ataque com maior intensidade. Verifica-se igualmente áreas com uma coloração rosa e verde, que poderão possivelmente representar a presença de sais na amostra, realçando essa coloração devido a luz emitida pelo microscópio. Essas figuras mostram uma zona da amostra com um possível estado avançado de degradação, possivelmente iniciada devido à presença de elevada concentração de hipoclorito de sódio.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado, comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 113 com a imagem da amostra padrão da figura 112. No caso do PVC, é possível distinguir-se com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração utilizada.

3.8.3.3.2.5. PEAD

Antes de serem submetidas ao ensaio de imersão, as amostras de PEAD encontravam-se em ambiente atmosférico, estando desta forma propicias a qualquer contaminação exterior, ou riscos provocados pelo contacto com outros materiais. Na figura 114, é possível observar pequenas manchas de forma irregular, e linhas, possivelmente causadas durante o processamento do material.

Figura 114 - Imagem M.O. da amostra de PEAD não submersa em concentração de NaClO com aumento x100

As análises realizadas através de microscopia óptica são referentes ao PEAD, após ensaio de imersão com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100%, apresentadas na figura 115.

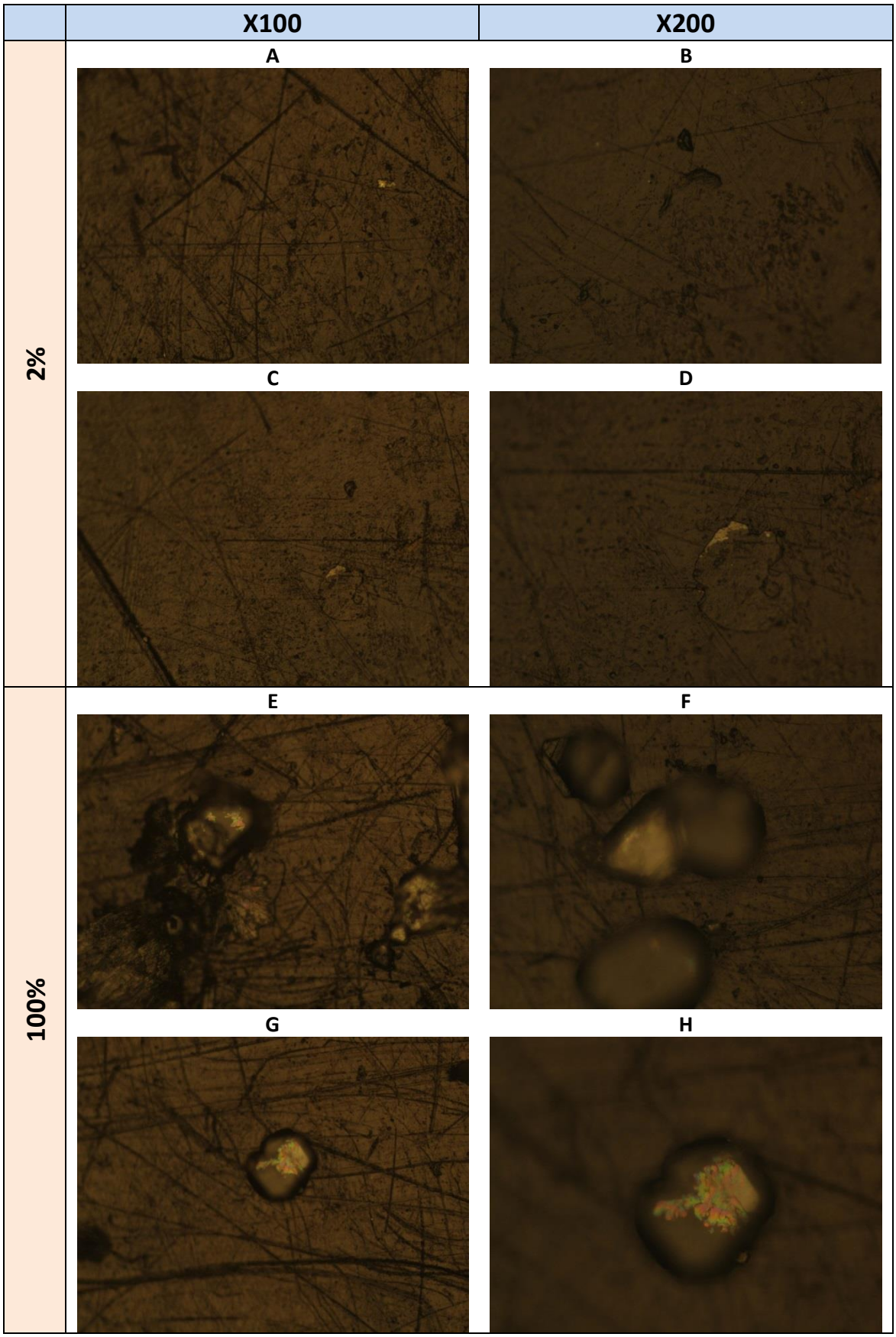


Figura 115 - Imagem de microscopia óptica X100 e X200 das amostras de PEAD submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 semanas de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento X100, nas quais podemos observar algumas áreas claras de forma irregular e de maior dimensão, que podem corresponder a regiões de ataque com maior intensidade. Também são visíveis algumas linhas, que podem corresponder a marcas feitas pelo contacto com outros materiais, ou mesmo durante o processamento do material. As imagens B e D foram conseguidas com um aumento X200, sendo possível observar na imagem D, uma área de maior dimensão e de forma irregular, que pode corresponder a uma área de ataque com maior intensidade. Algumas zonas mais claras, poderão igualmente corresponder a possíveis contaminações, dificultando desta forma a interpretação dos resultados obtidos.

100% de NaClO

As imagens E e G foram conseguidas com um aumento X100, e as imagens F e H com um aumento X200, nas quais podemos observar algumas linhas semelhantes às referidas nas imagens A, B, C e D. Contudo, na amostra submersa em 100% de NaClO, nota-se uma quantidade maior de áreas com coloração clara e de forma irregular, quando comparado à amostra submersa em 2% de NaClO. Podemos então afirmar que a amostra submersa em 100% de NaClO apresenta um nível mais elevado de corrosão que a amostra submersa em 2% de NaClO. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise de variação de peso, podendo-se verificar nos gráficos anteriormente apresentados, foi confirmada pela análise de microscopia óptica.

Um facto interessante que pode ser verificado na amostra submersa em 100% de NaClO, é a presença de áreas de maior dimensão e de forma anormal, conforme se pode observar nas imagens F e H, podendo corresponder a regiões de ataque com maior intensidade, assim como uma coloração rosa e verde, que poderão possivelmente representar a presença de sais na amostra, realçando essa coloração devido a luz emitida pelo microscópio. Essas figuras mostram uma zona da amostra com um possível estado avançado de degradação, possivelmente iniciada devido à presença de elevada concentração de hipoclorito de sódio.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado, comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 115, com a imagem da amostra padrão da figura 114. No caso do PEAD, é possível distinguir-se com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração utilizada.

3.8.3.3.2.6. PP

Antes de serem submetidas ao ensaio de imersão, as amostras de PP encontrava-se em ambiente atmosférico, estando assim propicio a qualquer contaminação exterior ou riscos provocados pelo contacto com outros materiais. A figura 116 mostra uma superfície praticamente lisa, apresentando apenas algumas linhas, possivelmente causados durante o processamento do material, assim como um ponto de coloração escura, podendo significar a presença de alguma impureza depositada na superfície da amostra.

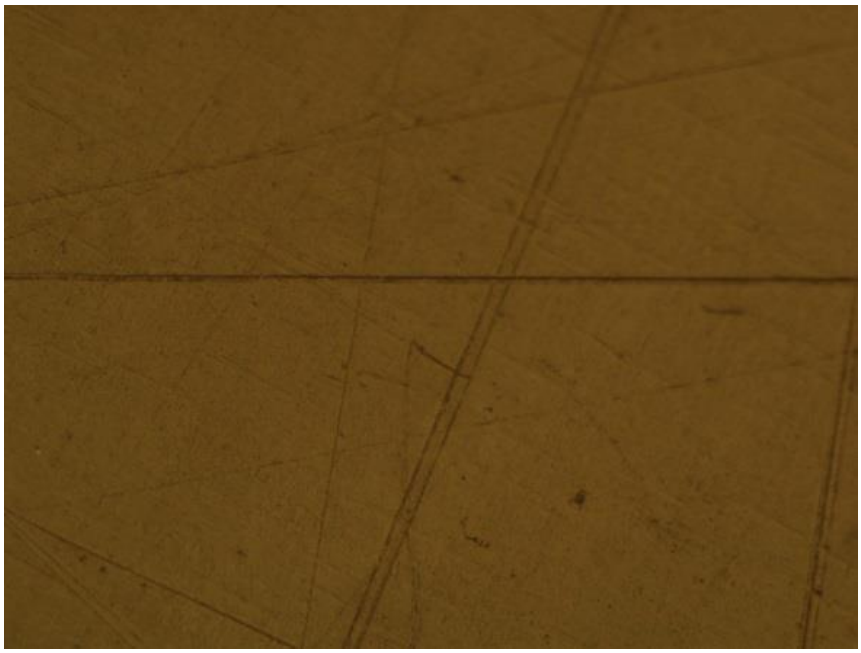


Figura 116 - Imagem M.O. da amostra de PP não submersa em concentração de NaClO com aumento x100

As análises realizadas através de microscopia óptica são referentes ao PP, após ensaio de imersão com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100%, apresentadas na figura 117.

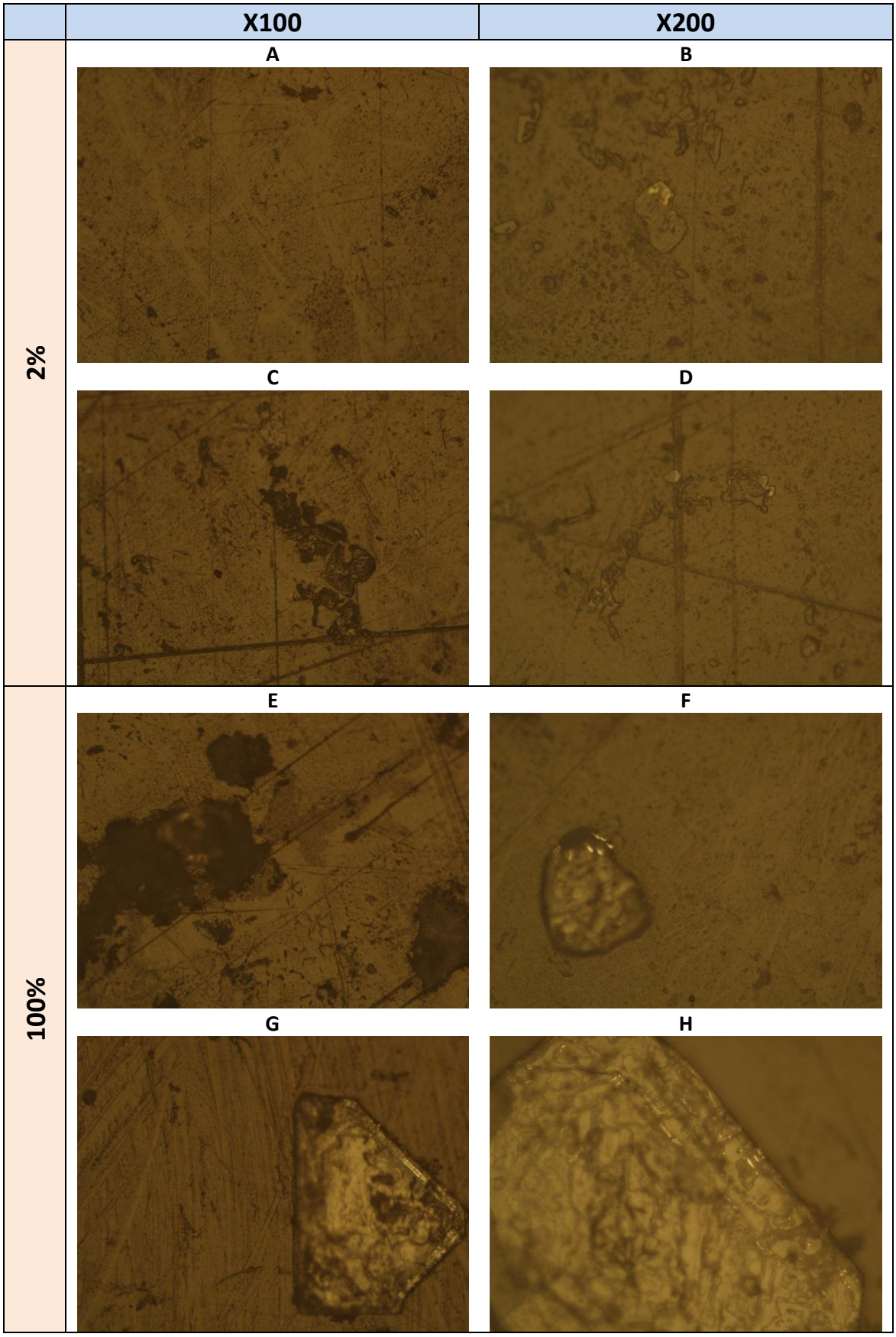


Figura 117 - Imagem de microscopia óptica X100 e X200 das amostras de PP submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 semanas de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento X100, nas quais podemos observar na imagem C algumas áreas escuras, de forma irregular e de maior dimensão, que podem corresponder a regiões atacadas com maior intensidade. Também são visíveis algumas linhas, que podem corresponder a marcas realizadas pelo contacto com outros materiais, ou mesmo durante o processamento do material. As imagens B e D foram conseguidas com um aumento X200, nas quais é igualmente possível observar áreas de maior dimensão e de forma anormal, que podem corresponder a uma zona de ataque com maior intensidade. Algumas zonas mais claras representam possivelmente pontos de degradação do material, no entanto, poderão igualmente corresponder a possíveis impurezas superficiais, dificultando desta forma a interpretação dos resultados obtidos.

100% de NaClO

As imagens E e G foram conseguidas com um aumento X100, e as imagens F e H com um aumento X200, nas quais podemos observar algumas linhas semelhantes às referidas nas imagens A, B, C e D. Contudo, na amostra submersa em 100% de NaClO, nota-se uma quantidade maior de áreas de coloração diferente à do material base, quando comparado à amostra submersa na concentração de 2% de NaClO, sendo algumas claras (imagem F, G e H) e outras escuras (imagem E), possuindo uma forma irregular. Podemos então afirmar que a amostra submersa em 100% de NaClO apresenta um nível mais elevado de degradação, quando comparado à amostra submersa na concentração de 2% de NaClO. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise de variação de peso, podendo-se verificar nos gráficos anteriormente apresentados, foi confirmada pela análise de microscopia óptica.

Um facto interessante que pode ser verificado na amostra submersa em 100% de NaClO, é a presença de áreas de maior dimensão e de forma anormal, conforme se pode observar nas imagens F, G e H, podendo corresponder a regiões de ataque com maior intensidade. Essas figuras mostram uma zona da amostra com um possível estado avançado de degradação, possivelmente iniciada devido a presença de elevada concentração de hipoclorito de sódio.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 117 com a imagem da amostra padrão da figura 116. No caso do PP, é possível distinguir-se com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração.

3.8.3.3.3. Resultados obtidos por análise de microscopia electrónica

Para a analise da morfologia dos materiais através da microscopia electrónica de varredura serão apenas utilizadas as amostras submersas em concentração de 100% de hipoclorito de sódio, tendo em conta que foram as amostras que sofreram maior degradação. Nesta análise, serão apenas avaliadas as amostras, visto não ser possível caracterizar o produto de corrosão após o ensaio de imersão, pois o produto formado é solubilizado pela solução de imersão.

3.8.3.3.3.1. Aço inoxidável 316L

A figura 118 representa a amostra de aço inoxidável 316L submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

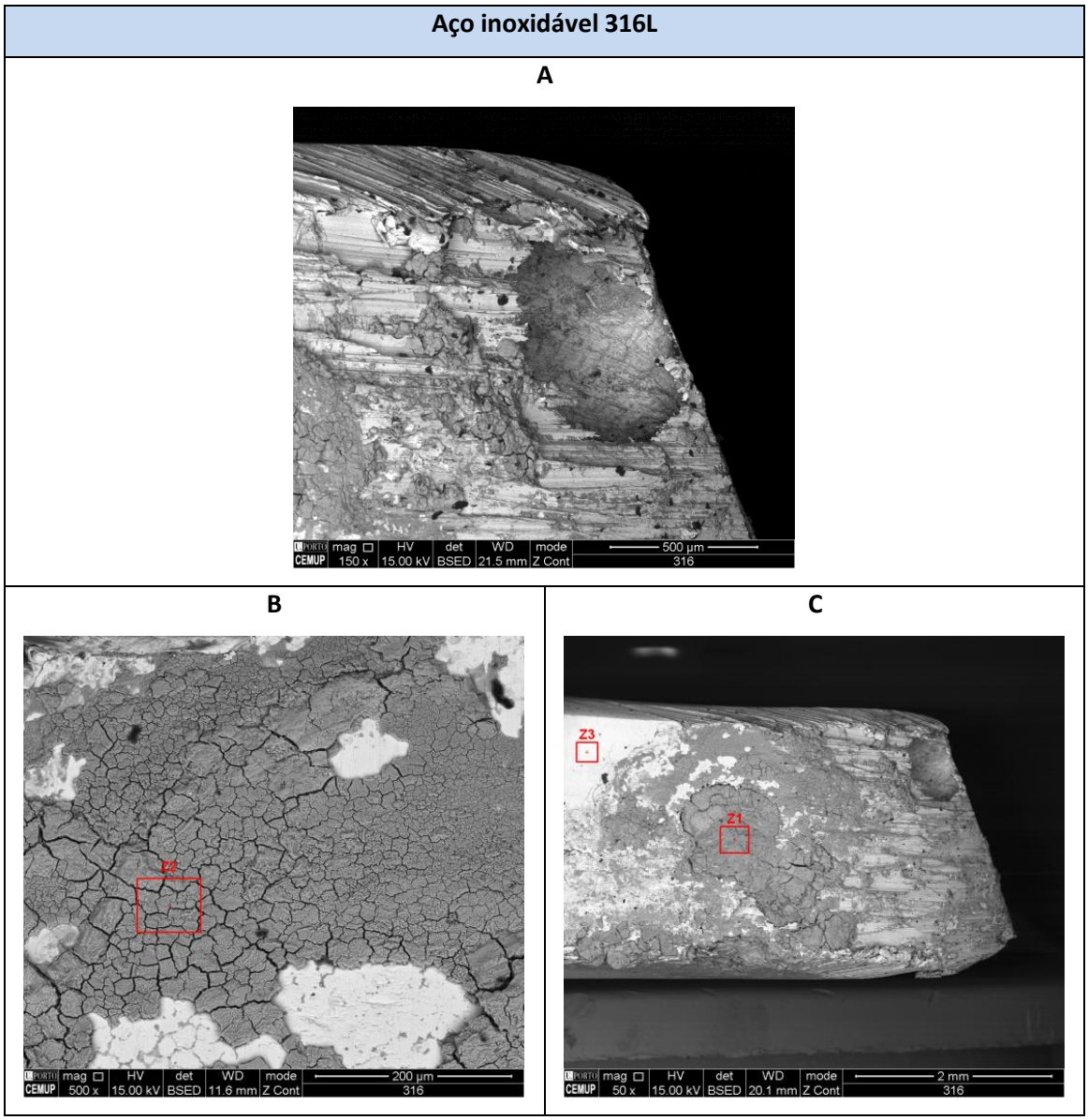
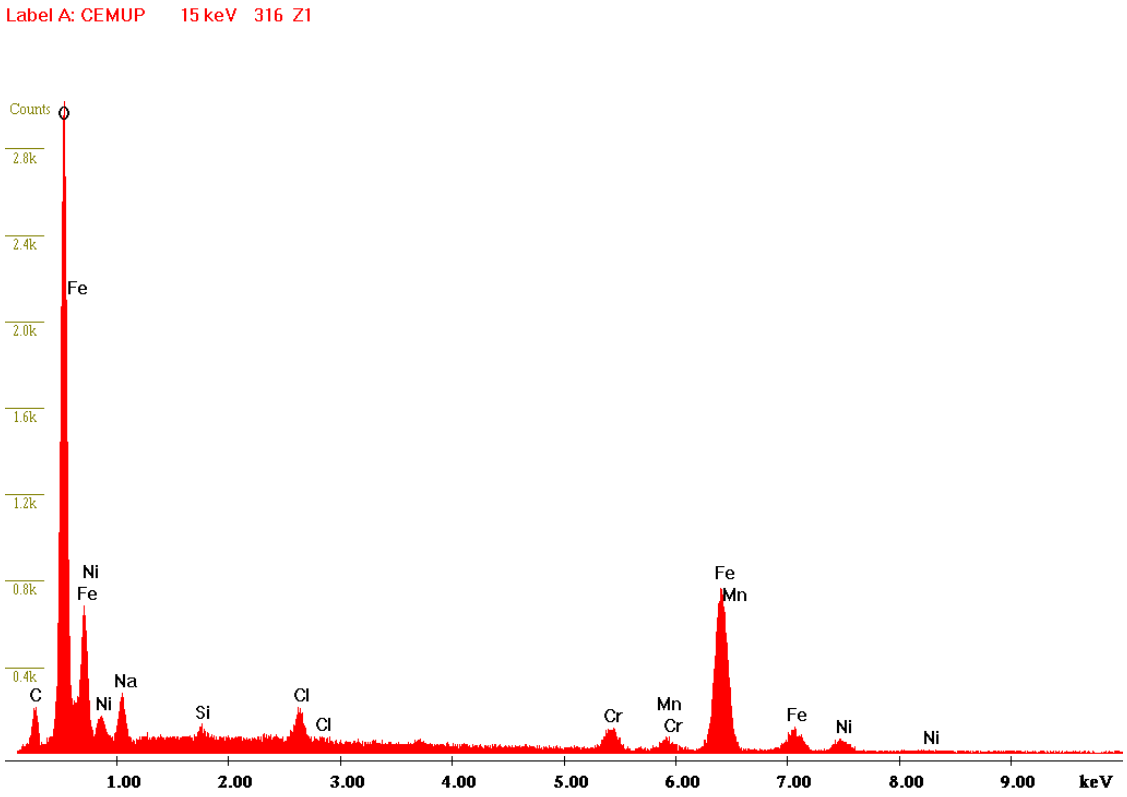


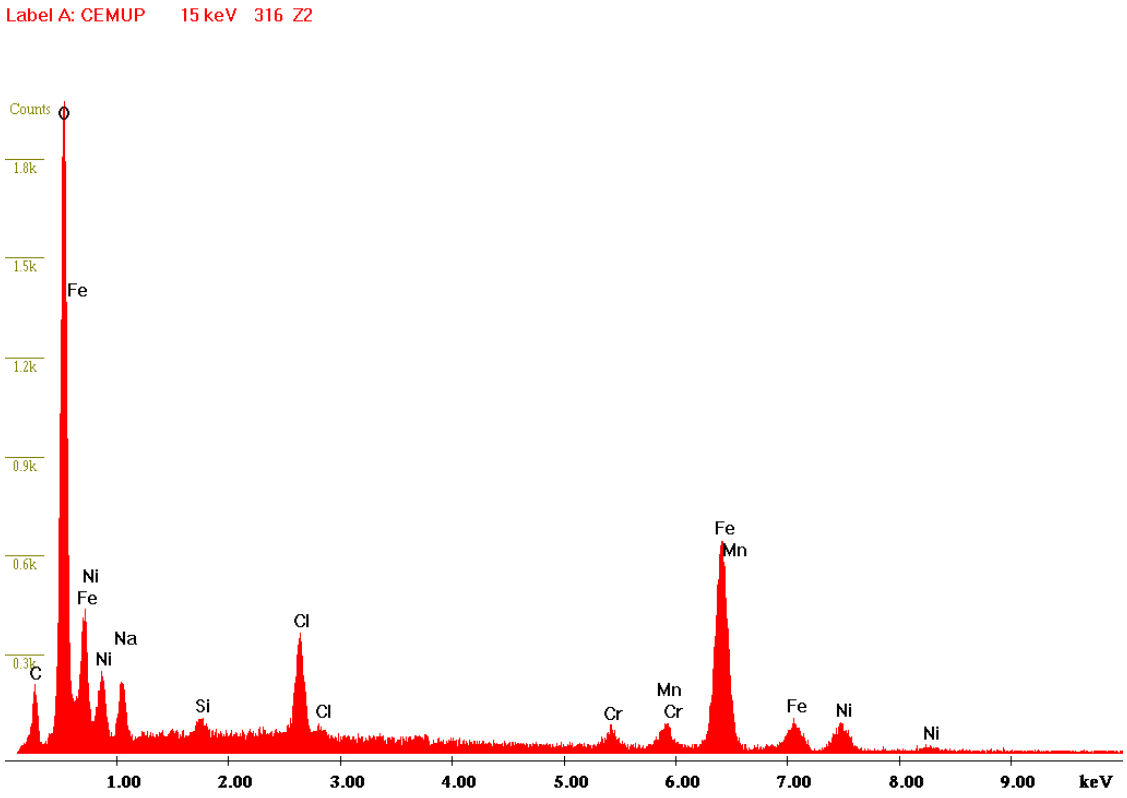
Figura 118 - Imagem MEV da amostra de aço inoxidável 316L submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x150 (A), x500 (B) e x50 (C)

Analisando a figura 118, é possível observar na imagem A uma elevada quantidade de pontos escuros, que podem corresponder a contaminações, ou possíveis defeitos ocorridos durante o processo de fabrico do material. É igualmente possível observar mais detalhadamente uma cratera de elevada dimensão na extremidade superior direita, causada possivelmente pelo ataque corrosivo, assim como linhas efectuadas durante a etapa de limpeza da amostra. A cratera pode, no entanto, ter sido igualmente causada por defeitos ocorridos durante o processo de fabrico do material. Nas imagens B e C, é possível observar zonas distintas da amostra, que permite observar e comparar áreas, em que a amostra sofreu ataque corrosivo por parte da solução (Z1 e Z2), e outras em que a amostra permaneceu imune (Z3). Na zona Z1 e Z2, a amostra apresentou uma elevada quantidade de oxigénio e ferro, significando claramente a presença de corrosão. Este facto constata-se evidentemente através da análise EDS apresentados nas imagens A e B respectivamente, da figura 119. A presença de crómio e níquel significa que em certas regiões, não houve ataque por parte do cloro, deixando estes constituintes fazer o seu papel protector, reagindo com o oxigénio, formando uma camada de óxido de crómio, por exemplo. Como seria de esperar, foi detectado nas zonas Z1 e Z2, a presença de cloro, sendo o agente que está na origem dos ataques. Na zona Z3, o material não sofreu ataque por parte da solução de hipoclorito de sódio. Este facto constata-se através da análise EDS, apresentado na imagem C da figura 119, na qual é possível identificar os compostos químicos do material. Nesta zona, é possível verificar a inexistência de oxigénio e cloro, apresentando valores mais elevados de crómio, níquel e molibdénio por exemplo, quando comparado com as zonas Z1 e Z2, significando que não houve deterioração dos mesmos. Estes constituintes têm como um dos principais objectivos proteger o material contra ataques corrosivos.

A


Label A: CEMUP 15 keV 316 Z1
Counts
2.8k
2.4k
2.0k
1.6k
1.2k
0.8k
0.4k
Fe
Ni
Fe
C
Ni
Na
Si
Cl
Cl
Cr
Mn
Cr
Fe
Mn
Fe
Ni
Ni
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
9.00
keV

B


Label A: CEMUP 15 keV 316 Z2
Counts
1.8k
1.5k
1.2k
0.9k
0.6k
0.3k
Fe
Ni
Fe
C
Ni
Na
Si
Cl
Cl
Cr
Mn
Cr
Fe
Mn
Fe
Ni
Ni
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
9.00
keV

C

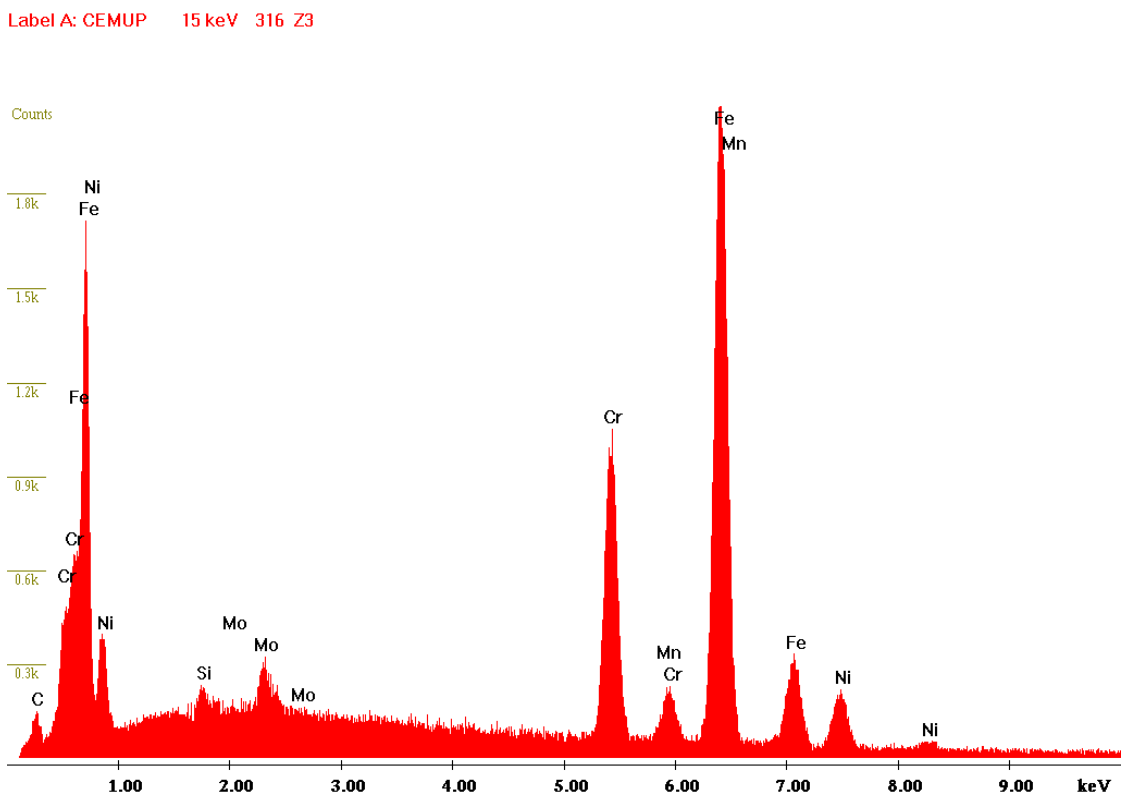


Figura 119 – Caracterização dos elementos químicos presentes nas zonas Z1 (A), Z2 (B) e Z3 (C) da amostra de aço inoxidável 316L observada na figura anterior

3.8.3.3.3.2. Aço inoxidável 321

A figura 120 representa a amostra de aço inoxidável 321 submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

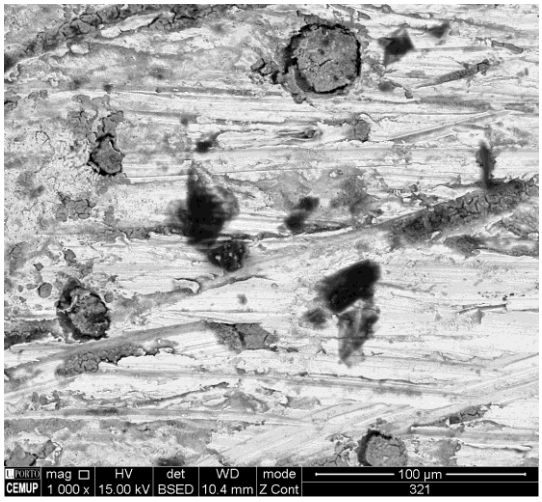
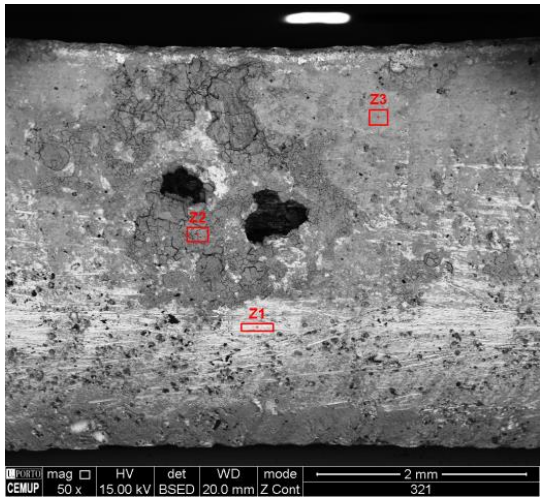
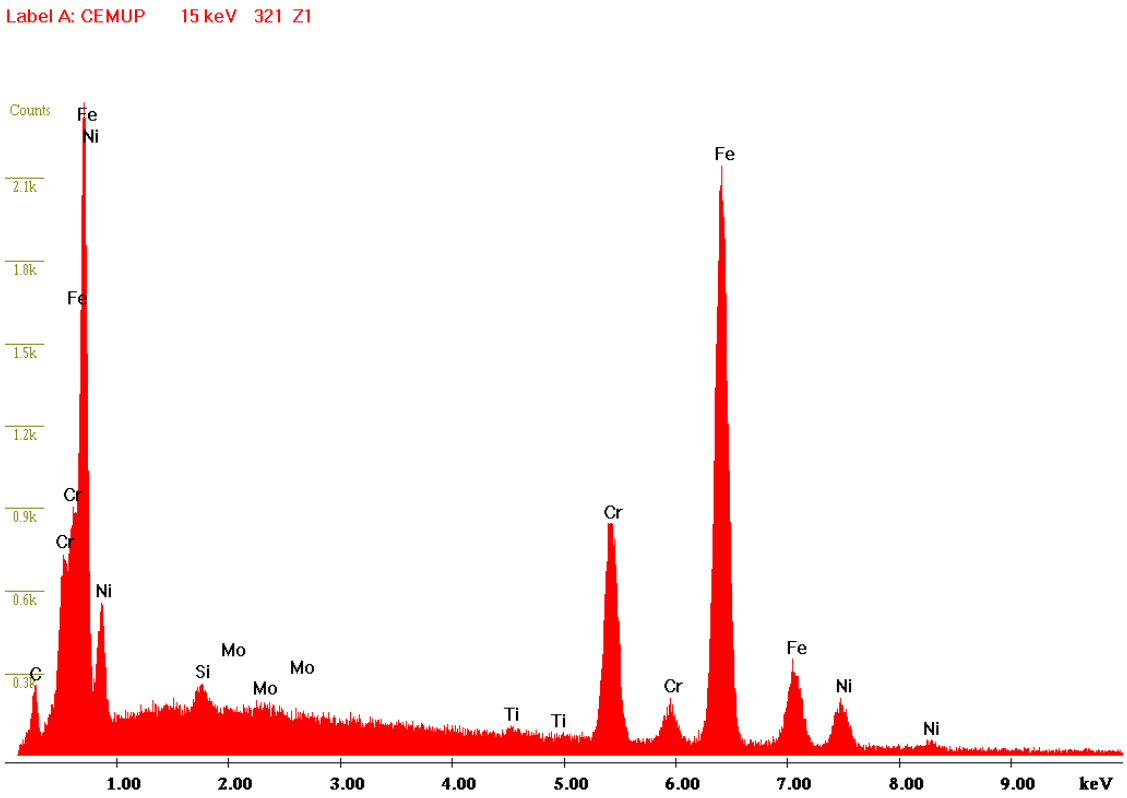
Aço inoxidável 321	
A	B
	

Figura 120 - Imagem MEV da amostra de aço inoxidável 321 submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x1000 (A) e x50 (B)

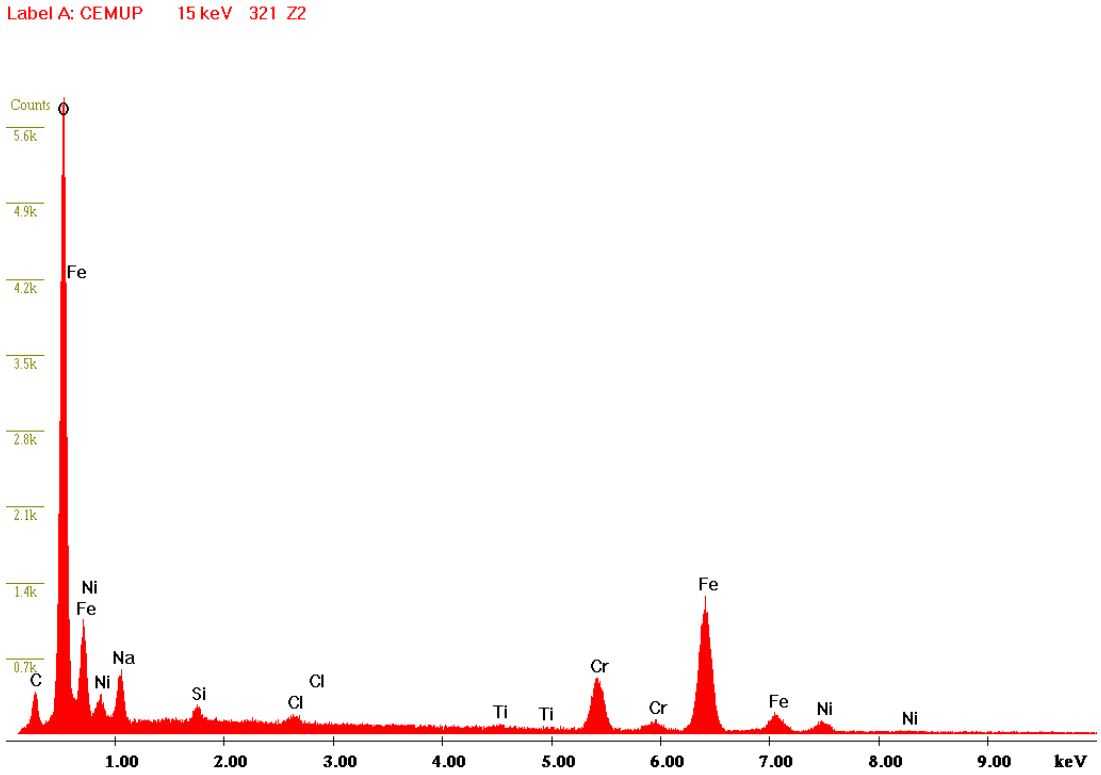
Analisando a figura 120, é possível observar na imagem A uma elevada quantidade de áreas circulares, que podem corresponder a zonas de corrosão. No entanto, as áreas de coloração mais escuras, podem igualmente corresponder a contaminações na superfície da amostra. Na imagem B, é possível observar zonas distintas da amostra, que permite observar e comparar áreas em que a amostra sofreu ataque corrosivo por parte da solução (Z2 e Z3), e outras em que a amostra permaneceu imune (Z1). Na imagem B podemos observar duas áreas de forma irregular e coloração escura no centro da imagem, significando que nessas zonas, a amostra sofreu um ataque corrosivo mais forte por parte do hipoclorito de sódio sob a forma de picada. Essas áreas podem, no entanto, ter sido igualmente causada por defeitos ocorridos durante o processo de fabrico do material. Na zona Z2 e Z3, a amostra apresentou uma elevada quantidade de oxigénio e ferro, significando a presença de corrosão. Este facto constata-se evidentemente através da análise EDS, apresentados nas imagens B e C respectivamente, da figura 121. Pode-se ainda constatar que a zona Z3 apresenta uma quantidade superior de crómio, quando comparado com a zona Z2, o que significa que a zona Z2 sofreu um ataque corrosivo mais forte que a zona Z3. Na zona Z2, é também possível verificar a presença de cloro, visto que é o agente que está na origem dos ataques, o que não foi detectado na zona Z3, apesar de esperado. No entanto, o facto de ter sido encontrada uma quantidade razoável de corrosão nessa zona, indica que o cloro presente na solução conseguiu penetrar na camada passivante do material. A inexistência de cloro pode dever-se igualmente à forma com que as amostras foram manipuladas e armazenada. A presença de crómio, titânio e níquel significa que em certas regiões não houve ataque por parte do cloro, deixando estes

constituintes fazer o seu papel protector, reagindo com o oxigénio formando por exemplo uma camada de óxido de crómio. Na zona Z1, o material não sofreu ataque por parte da solução de hipoclorito de sódio. Este facto constata-se através da análise EDS, apresentado na imagem A da figura 121, na qual é possível identificar os compostos químicos do material. Nesta zona, é possível verificar a inexistência de oxigénio e cloro, apresentando valores mais elevados de crómio, titânio, níquel e molibdénio por exemplo, quando comparado com as zonas Z2 e Z3, significando que não houve deterioração dos mesmos. Estes constituintes têm como um dos principais objectivos proteger o material contra ataques corrosivos. Observando a figura 121, podemos também concluir que as áreas mais escuras apresentam maior de gradação que as áreas mais claras, podendo-se confirmar com a caracterização dos elementos químicos apresentados na figura 121.

A



B



C

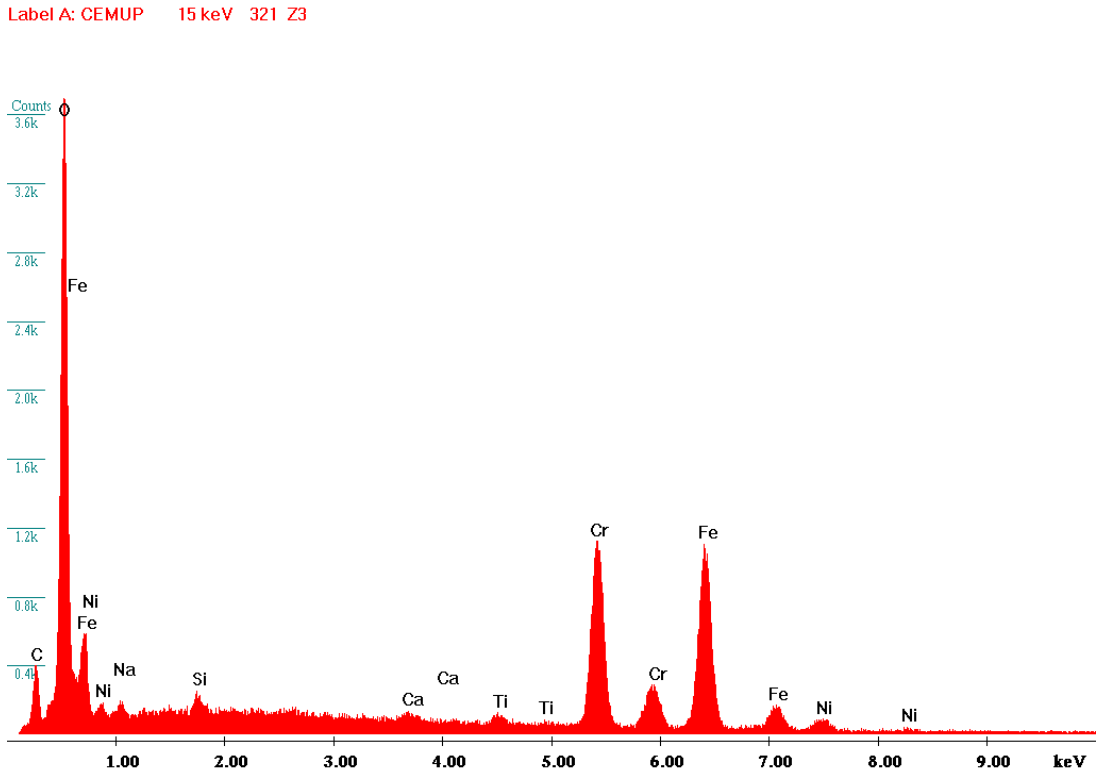


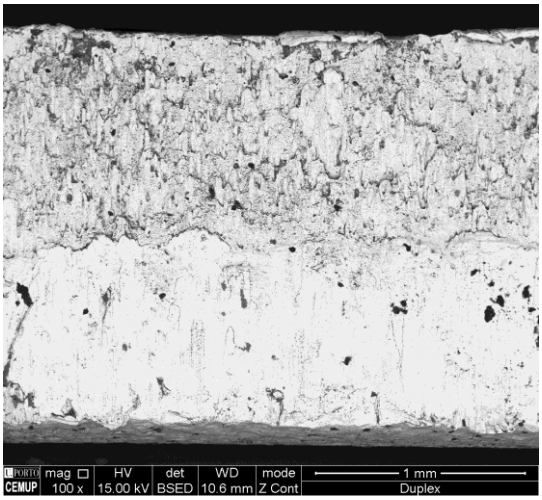
Figura 121 - Caracterização dos elementos químicos presentes nas zonas Z1 (A), Z2 (B) e Z3 (C) da amostra de aço inoxidável 321 observada na figura anterior

3.8.3.3.3.3. Duplex 14462

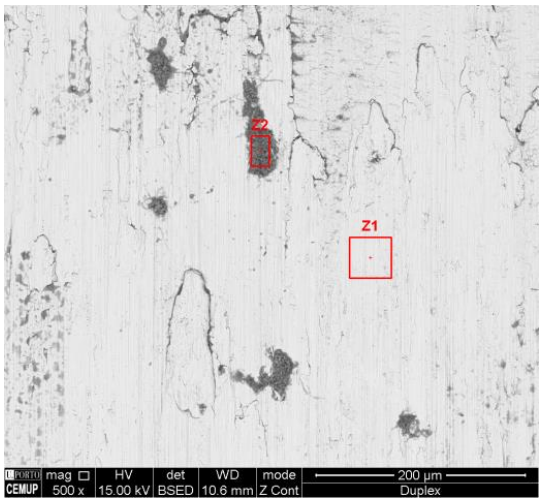
A figura 122 representa a amostra de duplex 14462 submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

Duplex 14462

A



B



C

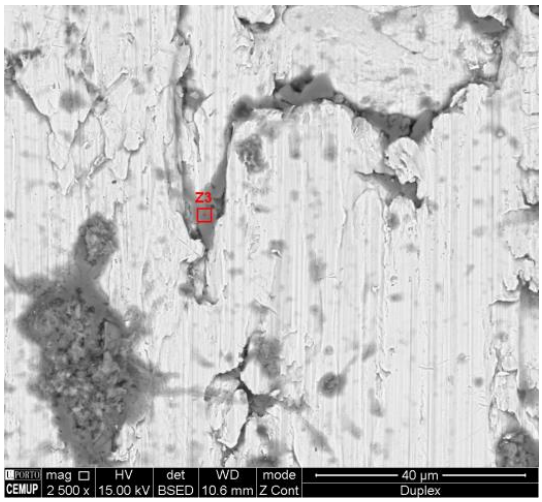


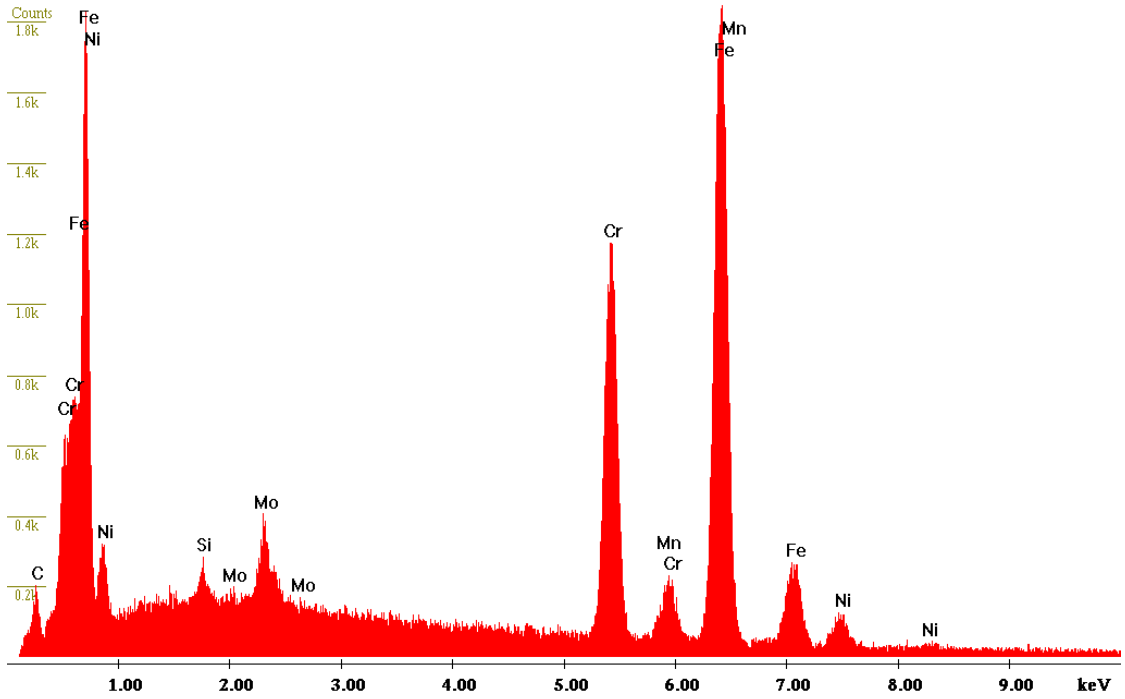
Figura 122 - Imagem MEV da amostra de duplex 14462 submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x100 (A), x500 (B) e x2500 (C)

Analisando a figura 122, é possível observar na imagem A uma elevada quantidade de pontos com coloração escura, que podem corresponder a zonas de corrosão, no entanto pode

igualmente corresponder a contaminações na superfície da amostra ou defeitos ocorridos durante o processo de fabrico do material. Nesta imagem, é também possível observar duas aparências distintas de superfície, separadas horizontalmente, provocadas durante a preparação da amostra, verificando-se corte e esmagamento. Na imagem B, é possível observar duas zonas distintas da amostra, que permite observar e comparar áreas em que a amostra sofreu ataque corrosivo por parte da solução (Z2), e outras em que a amostra permaneceu imune (Z1). Na zona Z2, a amostra apresentou uma elevada quantidade de oxigénio e ferro, significando a presença de corrosão. Este facto constata-se evidentemente através da análise EDS apresentados na imagem B, da figura 123. Na zona Z2, é também possível verificar a presença de cloro, visto que é o agente que está na origem dos ataques. A presença de crómio significa que em certas regiões, não houve ataque por parte do cloro, deixando estes constituintes fazer o seu papel protector, reagindo com o oxigénio formando por exemplo uma camada de óxido de crómio. Na zona Z1, o material não sofreu ataque por parte da solução de hipoclorito de sódio. Este facto constata-se através da análise EDS, apresentado na imagem A da figura 123, na qual é possível identificar os compostos químicos presentes no material. Nesta zona, é possível verificar a inexistência de oxigénio e cloro, apresentando valores mais elevados de crómio, níquel e molibdénio por exemplo, quando comparado com a zona Z2, significando que não houve deterioração dos mesmos. Estes constituintes têm como um dos principais objectivos, proteger o material contra ataques corrosivos. Na imagem C, é possível observar uma zona de coloração escura (Z3), que pode ser interpretada num instante inicial como uma zona corroída da amostra. No entanto, através da análise EDS, podemos constatar que os elementos químicos encontrados na zona Z3, são o cloro e o sódio. Podemos então concluir que se trata de vestígios de hipoclorito de sódio, que não foram totalmente removidos na etapa de limpeza. Observando a figura 122, podemos também concluir que as áreas mais escuras apresentam maior de gradação que as áreas mais claras, podendo-se confirmar com a caracterização dos elementos químicos apresentados na figura 123.

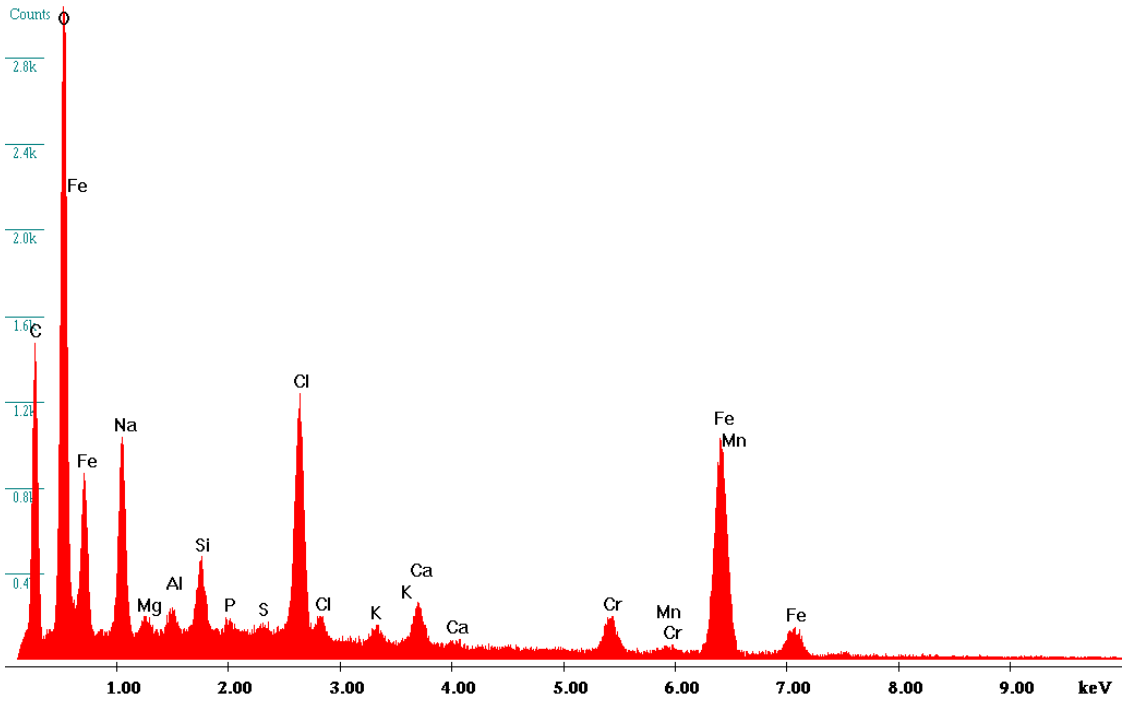
A

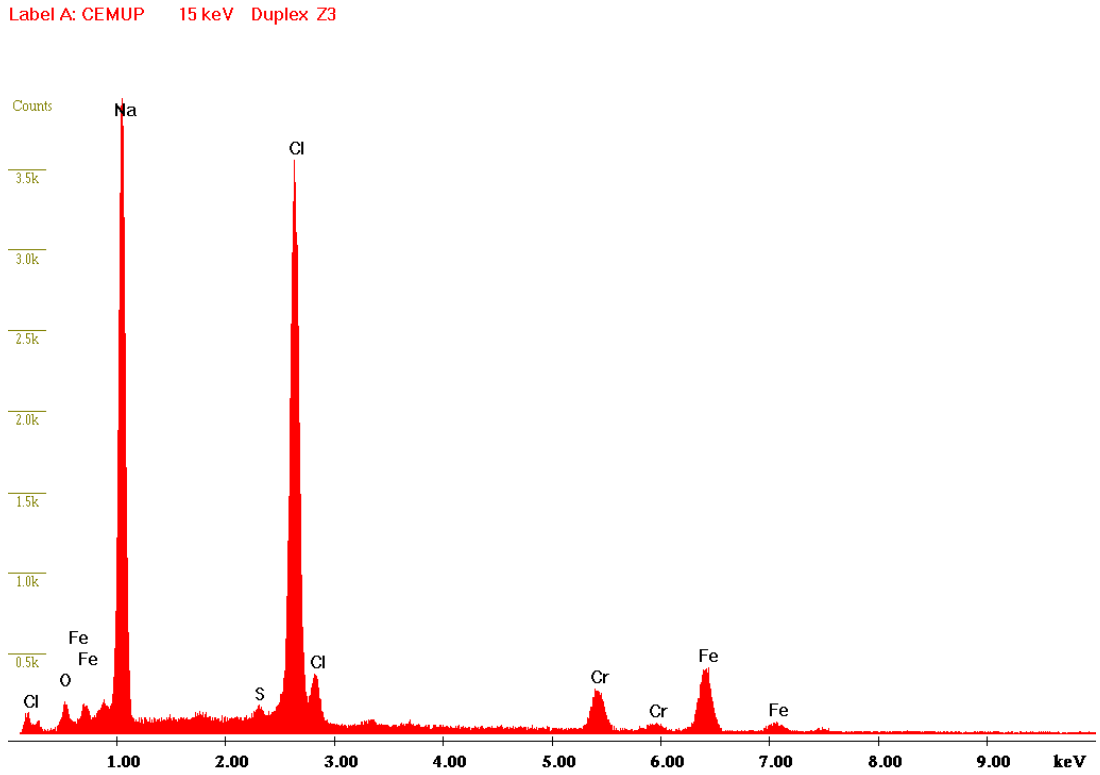
Label A: CEMUP 15 keV Duplex Z1



B

Label A: CEMUP 15 keV Duplex Z2



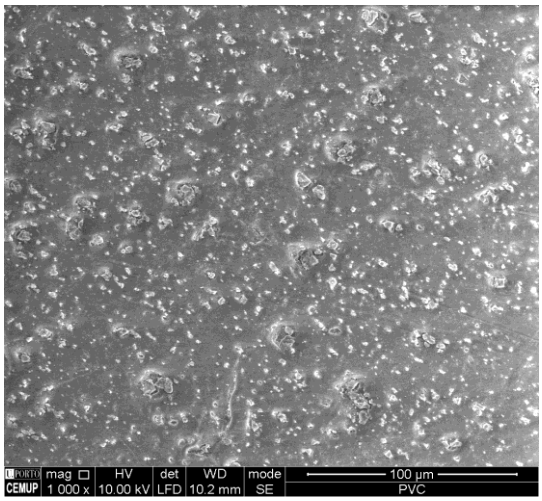
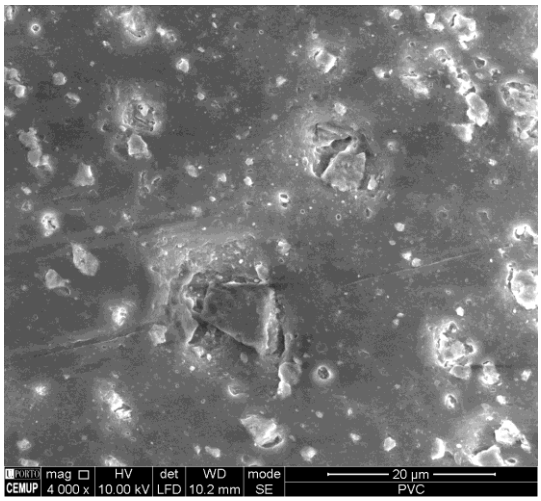


C

Figura 123 - Caracterização dos elementos químicos presentes nas zonas Z1 (A), Z2 (B) e Z3 (C) da amostra de duplex 14462 observada na figura anterior

3.8.3.3.3.4. PVC

A figura 124 representa a amostra de PVC submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

PVC	
A	**B**
	

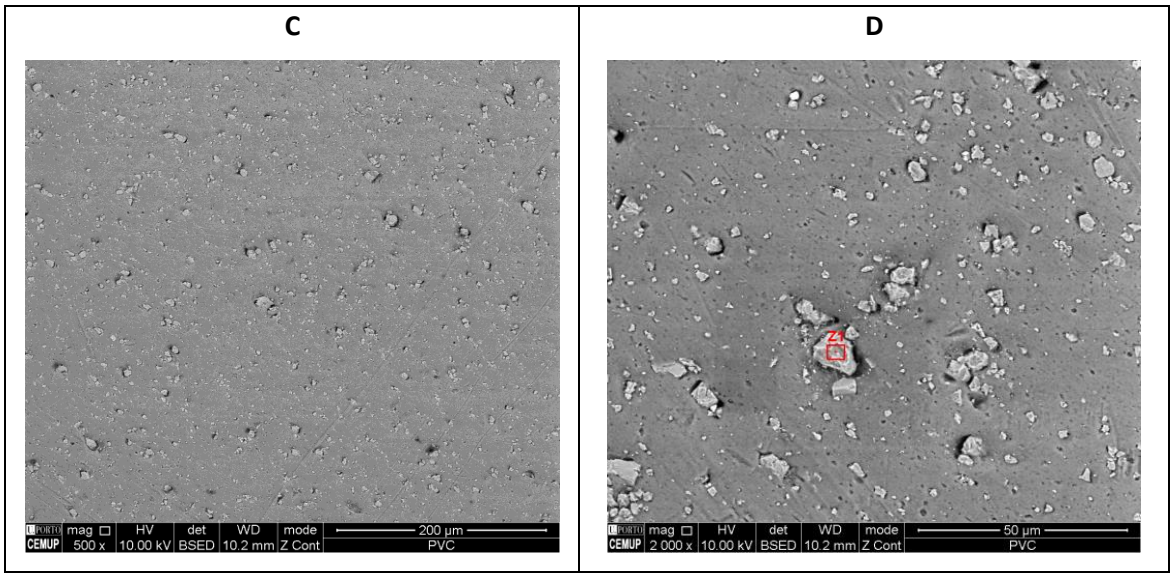
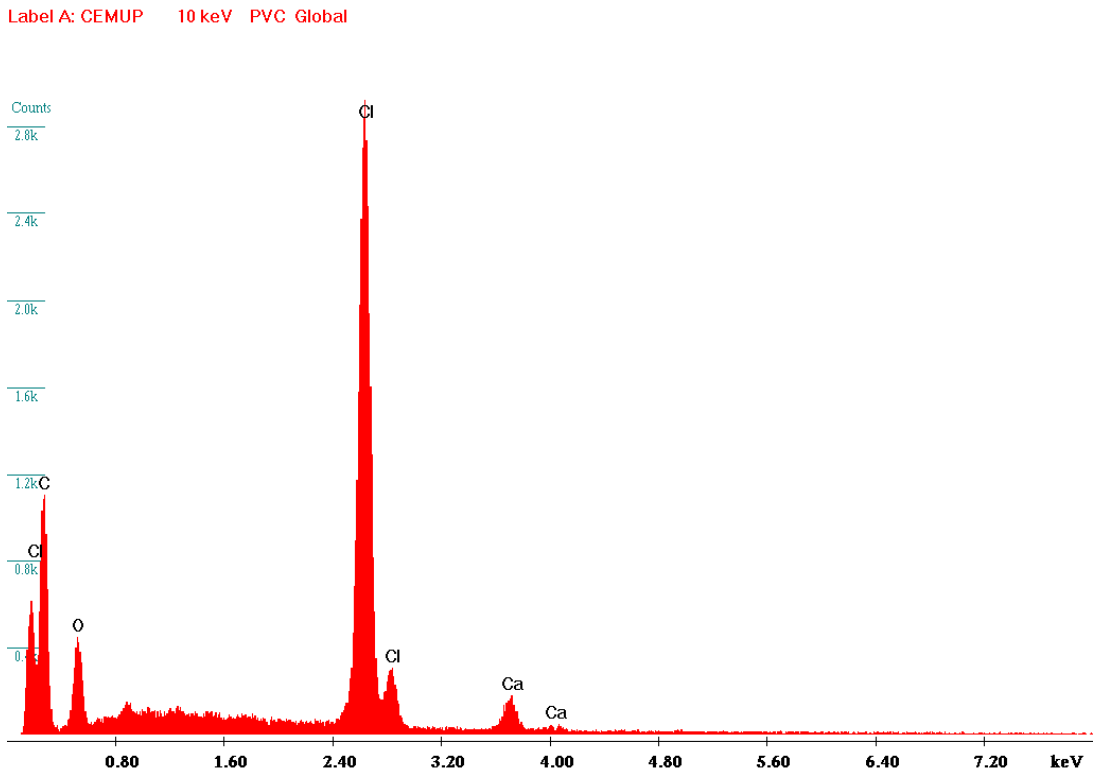


Figura 124 - Imagem MEV da amostra de PVC submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x1000 (A), x4000 (B), x500 (C) e x2000 (D)

Analisando a figura 124, nas imagens A, B, C e D, é possível observar zonas distintas da amostra, permitindo uma análise mais adequada sobre o estado do material. De uma forma geral, podemos constatar que a amostra apresenta um aspecto idêntico em toda a sua superfície. A superfície da amostra apresenta pequenos pontos de coloração mais clara que a do material base, indicando a presença de reforços no material. No entanto, e de uma forma global, a amostra apresentou uma elevada quantidade de cloro, assim como oxigénio, carbono e cálcio, sendo estes três últimos em menor quantidade. A presença de cálcio, representado pelos pontos de coloração mais claros, indica que o material contém reforços de cálcio. Verificam-se igualmente algumas manchas negras, indicando a presença de algumas impurezas à superfície da amostra. Este facto constata-se evidentemente através da análise EDS apresentados na imagem A, da figura 125. Na zona Z1, localizada na imagem D, é possível observar mais detalhadamente uns dos pequenos pontos encontrados em toda a superfície da amostra, tratando-se de um reforço do material. Através da análise EDS, podemos constatar que os principais elementos químicos encontrados na zona Z1 são o oxigénio e o carbono, podendo significar pequenas áreas nas quais o material apresenta alguma degradação inicial. É igualmente possível observar vestígios de hipoclorito de sódio assim como a presença de cálcio, podendo-se confirmar com a caracterização dos elementos químicos apresentados na figura 125. Contudo, esta análise confirma a análise visual já realizada anteriormente, na qual a amostra não apresentou indícios de degradação à superfície. Importa igualmente referir que este material contém cloro na sua própria estrutura, podendo a presença de cloro na análise ser confundida com o da solução em que esteve submerso.

A



B

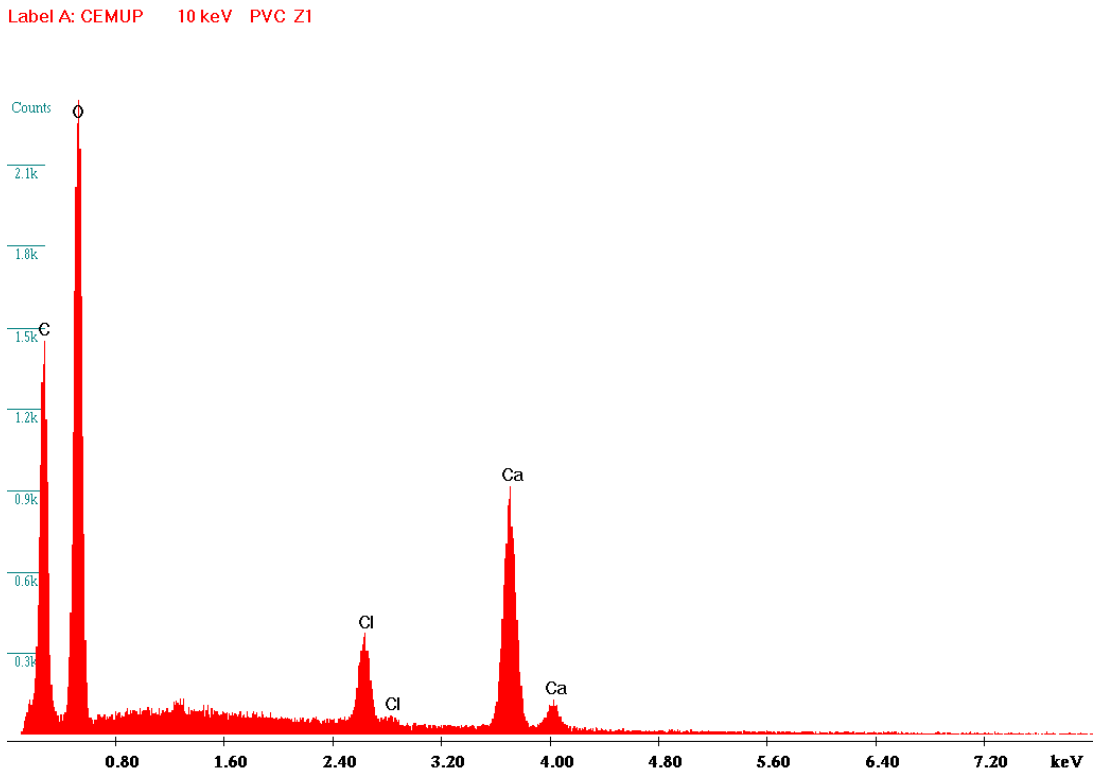


Figura 125 - Caracterização dos elementos químicos presentes num aspecto global (A) e na zona Z1 (B) da amostra de PVC observada na figura anterior

3.8.3.3.3.5. PEAD

A figura 126 representa a amostra de PEAD submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

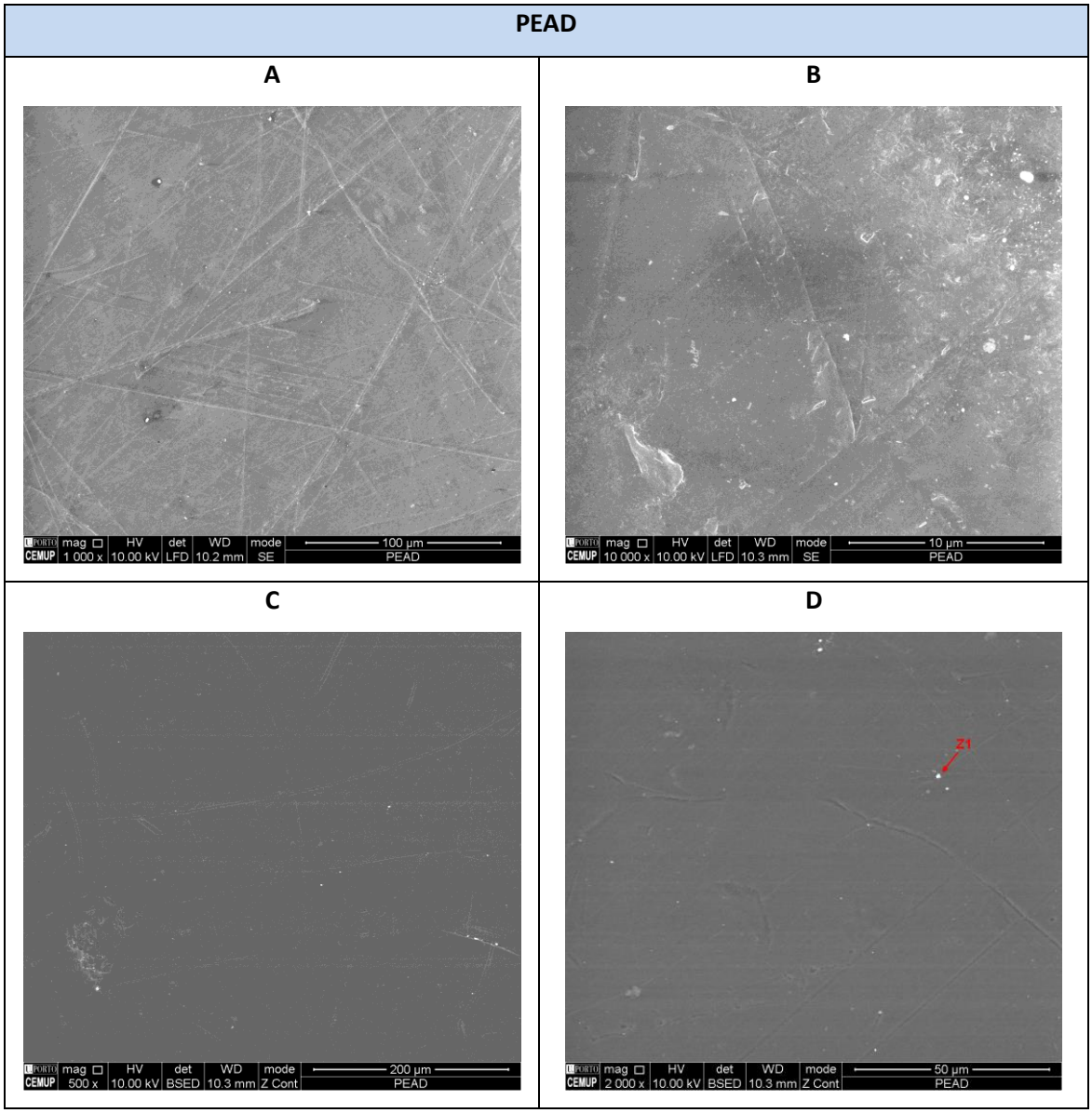
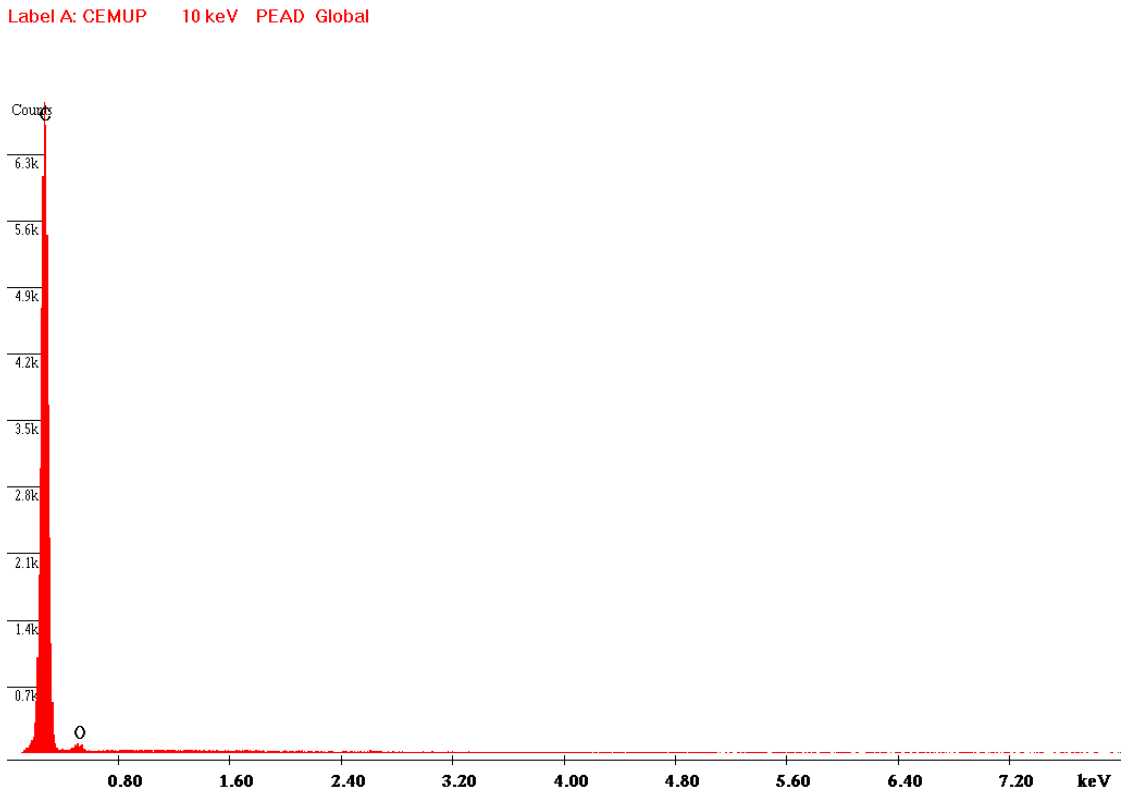


Figura 126 - Imagem MEV da amostra de PEAD submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x1000 (A), x10000 (B), x500 (C) e x2000 (D)

Analisando a figura 126, na imagem A, B, C e D, é possível observar zonas distintas da amostra, permitindo uma análise mais adequada sobre o estado do material. A superfície da amostra apresenta pequenos pontos de coloração clara, distinguindo-se do material base, assim como linhas, provocadas durante a preparação da amostra. De uma forma global, a amostra

apresentou uma elevada quantidade de carbono, assim como algum oxigénio, sendo este último em menor quantidade. Este facto constata-se evidentemente através da análise EDS apresentados na imagem A, da figura 127. Na zona Z1, identificada na imagem D, é possível observar mais detalhadamente um dos pequenos pontos encontrados na superfície da amostra, como foi mencionado inicialmente. Através da análise EDS, podemos constatar que os principais elementos químicos encontrados na zona Z1 continuam a ser o oxigénio e o carbono, assim como vestígios de cloro e sódio, devido á solução de hipoclorito de sódio em que a amostra esteve submersa, podendo ter ficado retidos pelo material na etapa de limpeza. Observando a figura 126, podemos também concluir que as zonas contendo pequenos pontos idênticos aos da zona Z1 da imagem D, podem apresentar futuramente maior degradação, quando comparado com as restantes zonas da amostra, devido à presença de resíduos de hipoclorito de sódio á superfície. Este facto pode ser confirmado através da imagem B da caracterização dos elementos químicos apresentados, na figura 127. Contudo, Observando a figura 126, podemos também observar pequenos traços de coloração branca no lado direito da imagem B, podendo possivelmente significar o início da degradação do material.

A



B

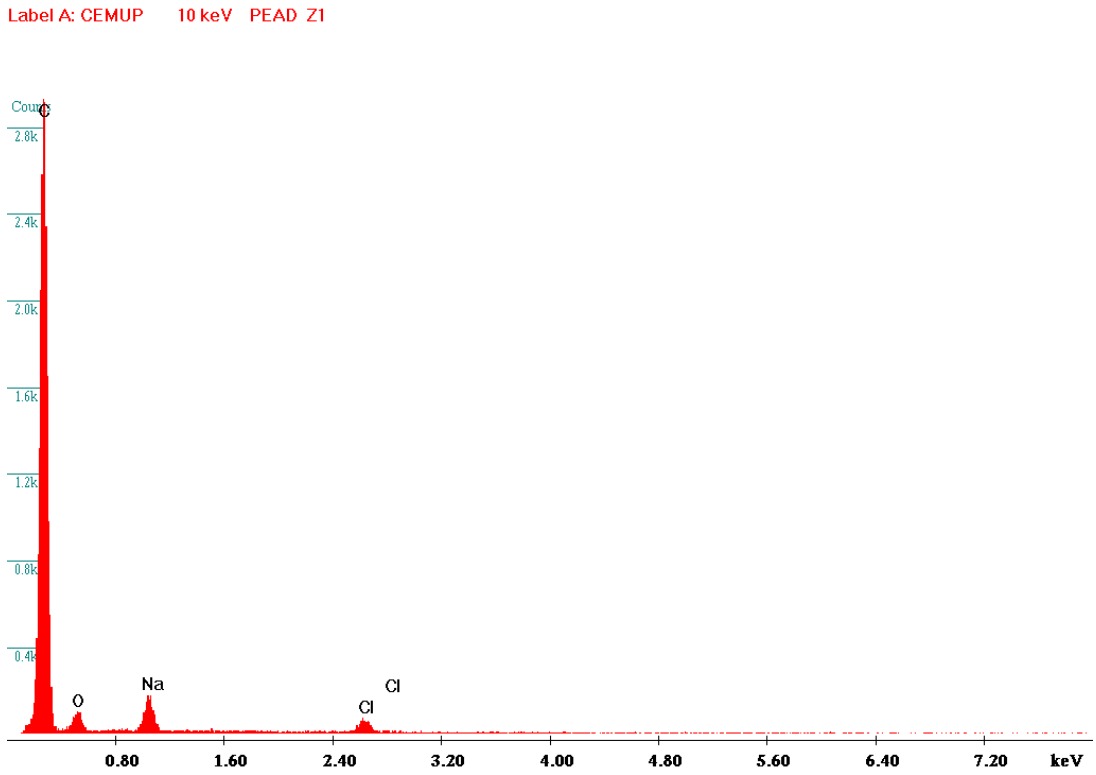
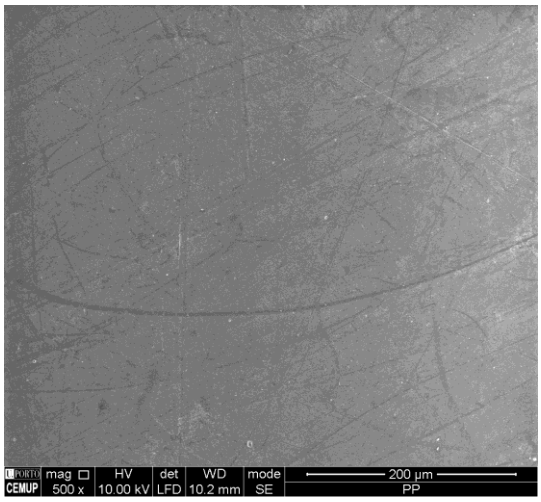


Figura 127 - Caracterização dos elementos químicos presentes num aspecto global (A) e na zona Z1 (B) da amostra de PEAD observada na figura anterior

3.8.3.3.3.5. PP

A figura 128 representa a amostra de PP submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

PP
A 

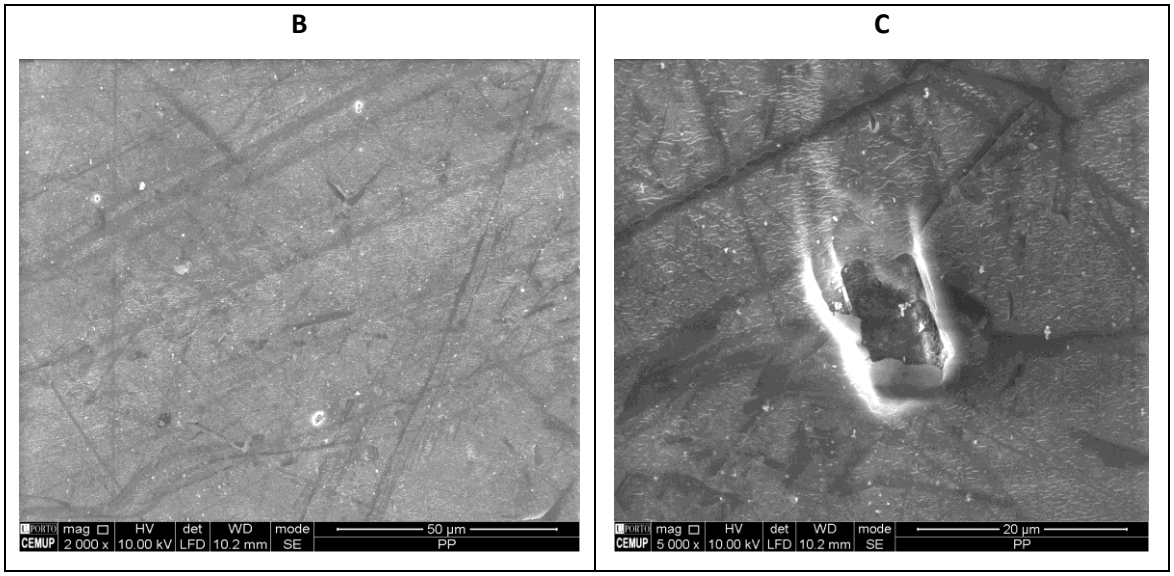


Figura 128 - Imagem MEV da amostra de PP submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x500 (A), x2000 (B) e x5000 (C)

Analisando a figura 128, na imagem A, B e C, é possível observar zonas distintas da amostra, permitindo uma análise mais adequada sobre o estado do material. Assim como nos restantes materiais poliméricos, a superfície da amostra apresenta pequenos pontos de coloração clara, distinguindo-se do material base. No entanto, através da imagem D, constata-se que esses pontos, cujo contorno apresenta uma coloração mais clara, deve-se a topografia da amostra, e não a degradação. De uma forma global, a amostra apresentou uma elevada quantidade de carbono, assim como algum oxigénio, sendo este último em menor quantidade. Este facto constata-se evidentemente através da análise EDS apresentados na figura 129. Contudo, Observando a figura 128, podemos também observar pequenos traços de coloração branca na imagem D, em toda a superfície da amostra, podendo possivelmente significar o início da degradação do material.

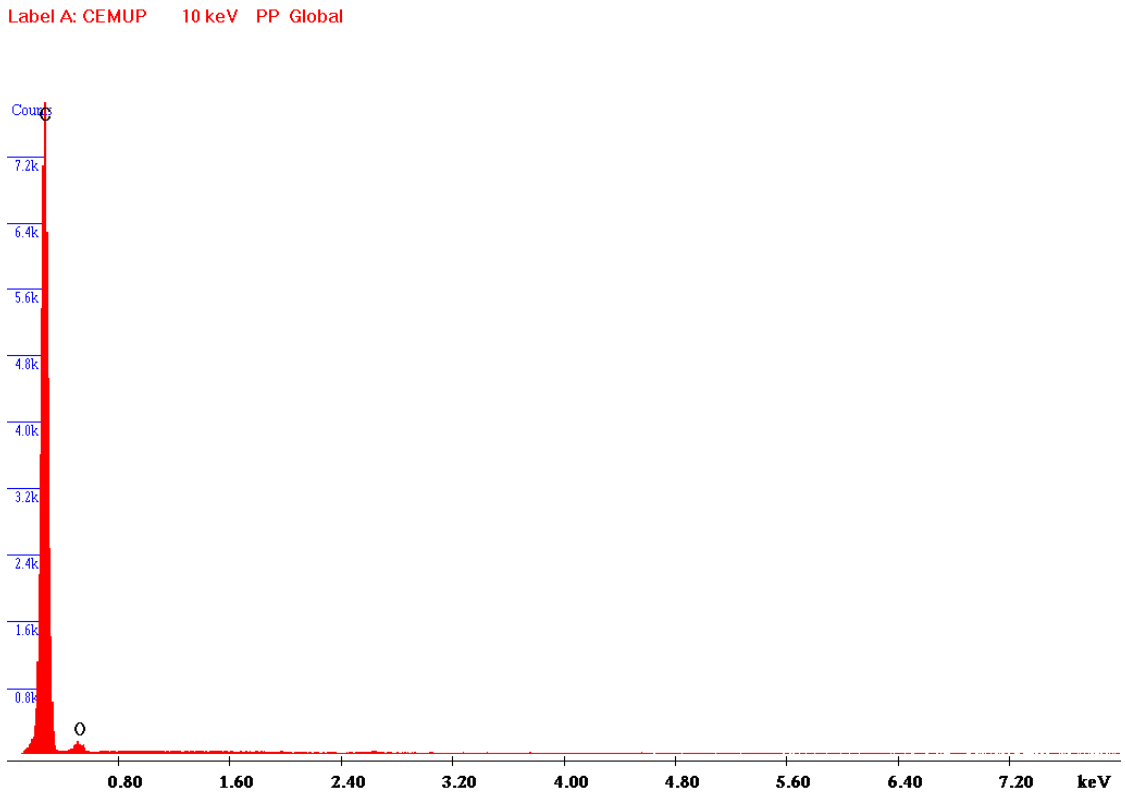


Figura 129 - Caracterização dos elementos químicos presentes num aspecto global da amostra de PP observada na figura anterior

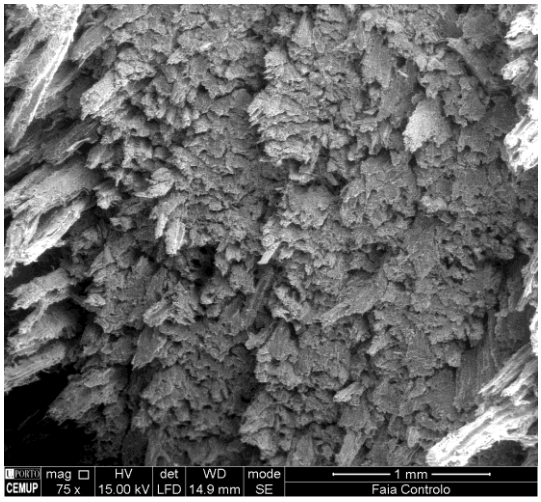
3.8.3.3.3.7. Faia

A figura 130 representa a amostra de Faia, sem ter estado em contacto algum com a solução de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas, com diferentes aumentos. Esta figura é de extrema importância, visto que será utilizada como modelo de comparação na avaliação da amostra de Faia degradada.

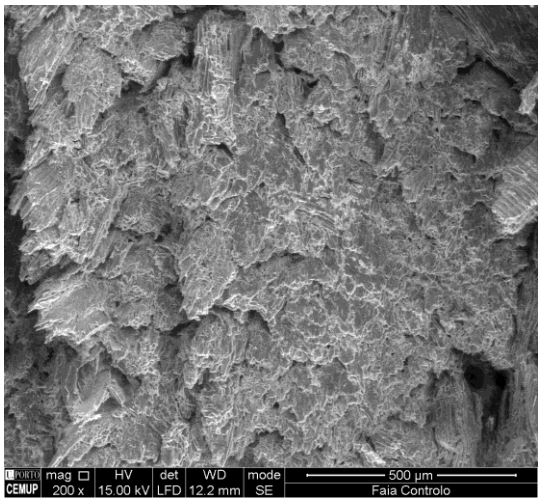
Nesta figura é possível visualizar o aspecto inalterado da madeira de Faia. As imagens A, B e C da figura 130 mostram à superfície, uma estrutura de fibras de madeira aparentemente desordenada, possivelmente causado pelo esmagamento das mesmas durante o corte do material. Verifica-se igualmente a presença de alguns poros, devido a estrutura do material.

Faia (Amostra não submersa em solução de NaClO)

A



B



C

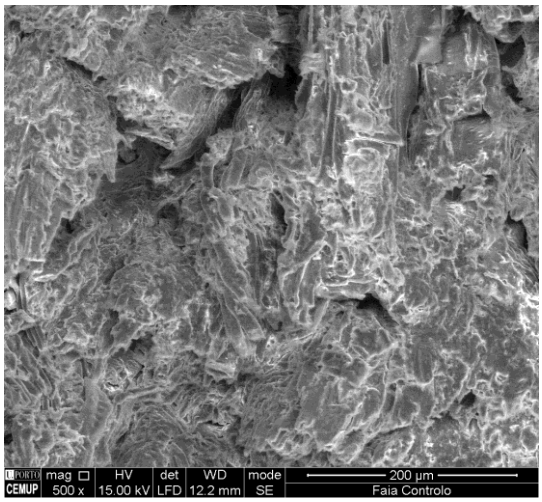


Figura 130 - Imagem MEV da amostra de Faia não submersa em concentração de NaClO com aumento x75 (A), x200 (B) e x500 (C)

A figura 131 representa a amostra de Faia submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

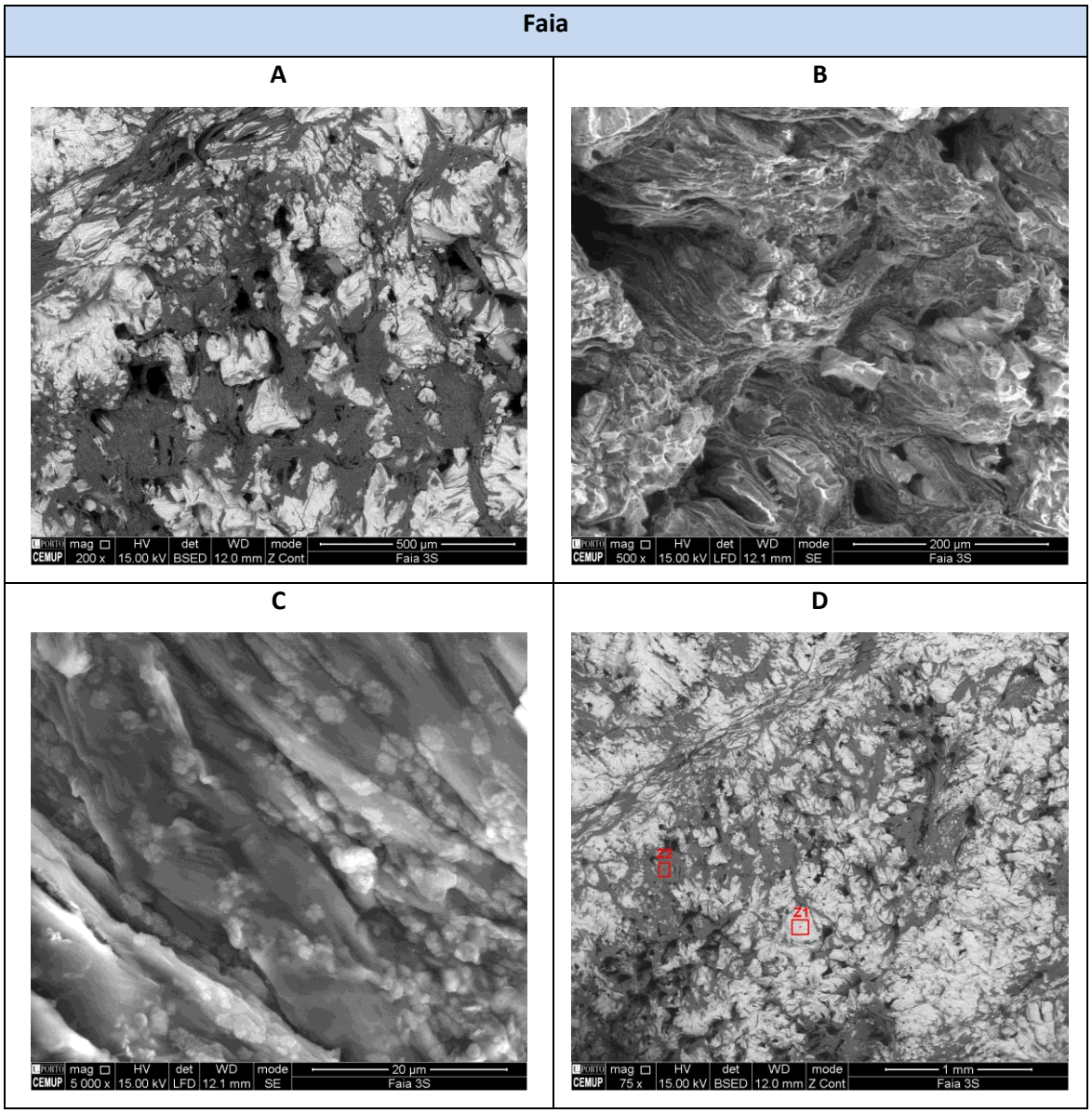
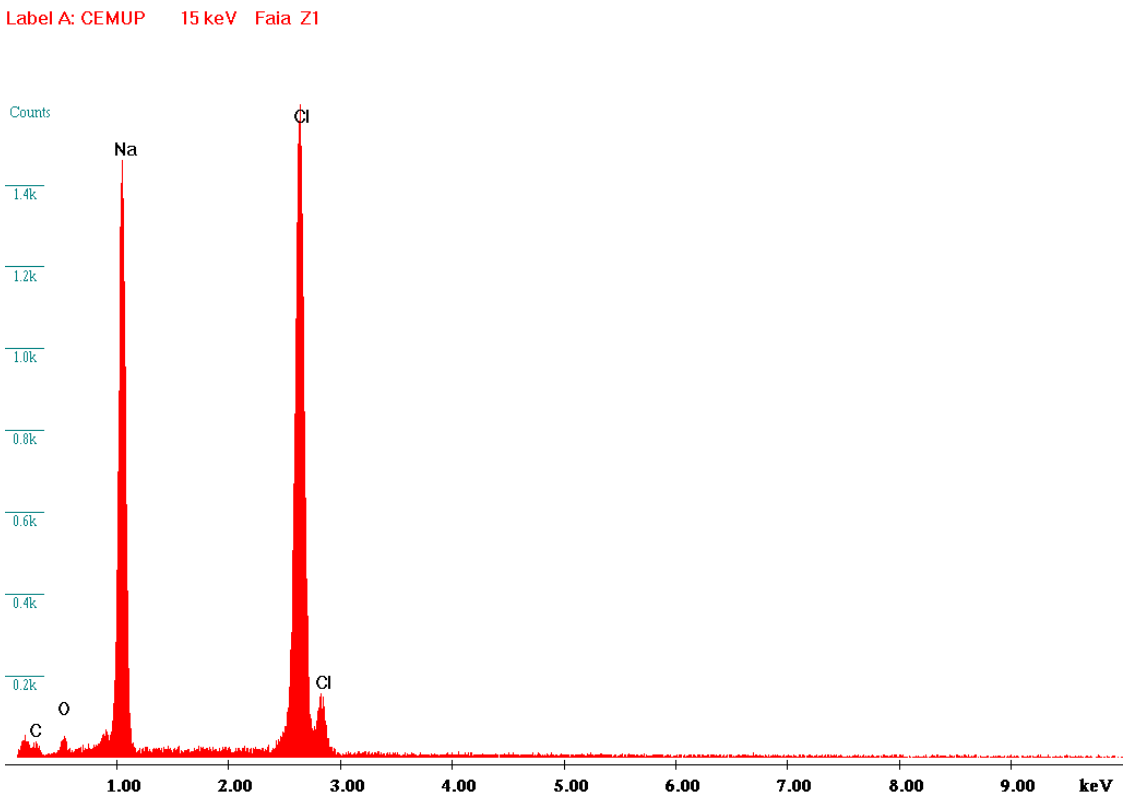


Figura 131 - Imagem MEV da amostra de Faia submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x200 (A), x500 (B), x5000 (C) e x75 (D)

Analisando a figura 131, é possível observar na imagem A, B e D, uma elevada quantidade de pontos escuros, que correspondem à presença de poros de maior dimensão, causados pela absorção da solução por parte do material. Nas imagens A e D, podemos igualmente observar zonas com coloração branca, representando a presença de sais proveniente da solução de hipoclorito de sódio após a secagem. Na primeira análise visual a olho nu efectuada à amostra, foi possível observar esses sais na superfície do material, significando que foram rejeitados do interior da amostra de madeira. A rejeição desses cristais origina a presença de furos e perda de material, tornando o material mais vulnerável a possíveis ataques corrosivos, visto que o fluido terá maior contacto com o interior do material. Na imagem D, é possível observar zonas

distintas da amostra, permitindo observar e comparar áreas em que a amostra sofreu ataque corrosivo por parte da solução (Z1 e Z2). Para além de carbono e oxigénio, a zona Z1 apresentou principalmente um elevado teor de cloro e de sódio, mostrando tratar-se de um cristal de hipoclorito de sódio. A zona Z2 apresenta igualmente carbono e oxigénio, com um teor mais elevado quando comparado á zona Z1. No entanto, apesar da zona Z2 não apresentar uma coloração branca, significado a presença de hipoclorito de sódio, foi igualmente detectada a presença de cloro e de sódio. Na imagem C, foi realizado um aumento da zona Z2, na qual se pode verificar a presença de sais de hipoclorito de sódio, junto às fibras de madeira. A presença desses sais presos à fibra do material, são de difícil remoção, apontando então para um processo contínuo de degradação, mesmo após a amostra ser retirada do contacto com a solução, e uma limpeza rigorosa. A presença de cálcio na zona Z2, pode corresponder a contaminações retidas na superfície da amostra. Estes factos constatam-se evidentemente através da análise EDS, apresentados nas imagens A e B da figura 132. Comparando as imagens da figura 130 com as imagens da figura 131, podemos verificar uma diferença evidente do estado da material, no qual se pode verificar um claro aumento do diâmetro dos poros, assim como a destruição do material.

A



B

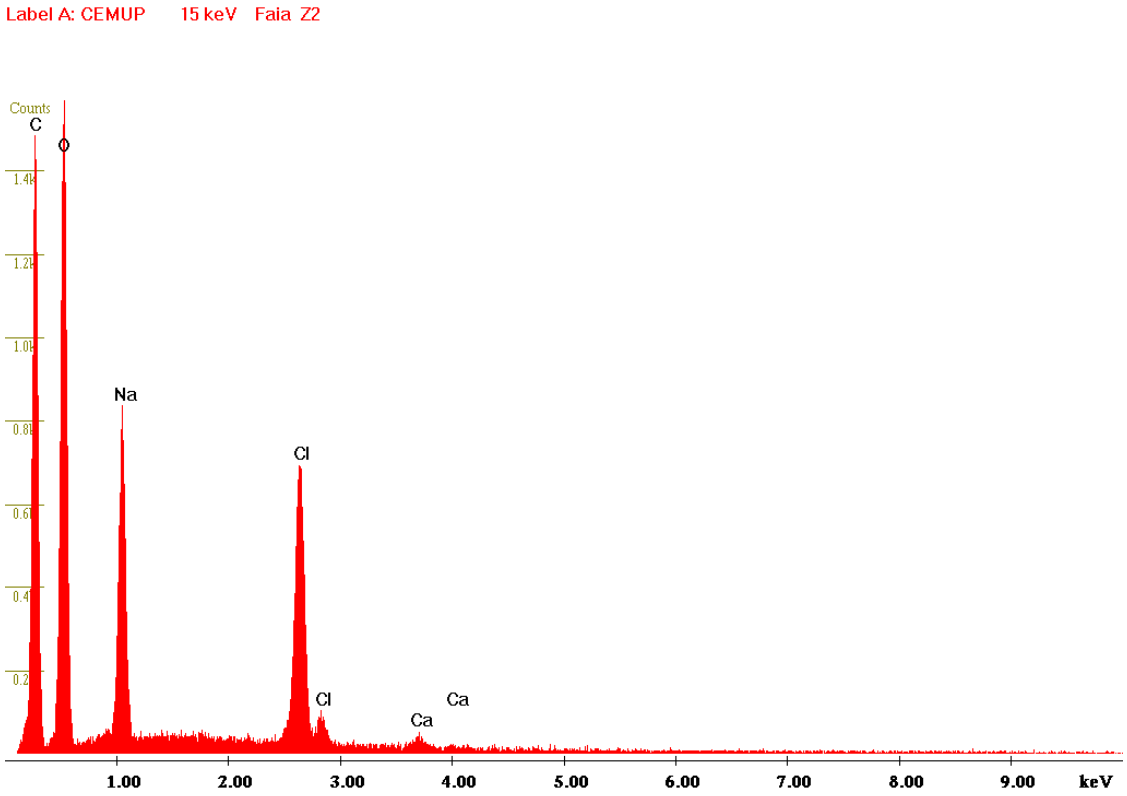


Figura 132 - Caracterização dos elementos químicos presentes na zona Z1 (A) e Z2 (B) da amostra de Faia observada na figura anterior

3.8.3.3.3.8. Carvalho

A figura 133 representa a amostra de Carvalho, sem ter estado em contacto algum com a solução de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas da mesma com diferentes aumentos. Esta figura é de extrema importância, visto que será utilizada como modelo de comparação na avaliação da amostra de Carvalho degradada.

Nesta figura é possível visualizar o aspecto inalterado da madeira de Carvalho. As imagens A, B e C da figura 133, mostram uma estrutura ordenada das fibras de madeira. No entanto, verifica-se um aspecto de esmagamento da superfície da amostra, podendo ter sido causado pelo corte do material, durante a sua preparação.

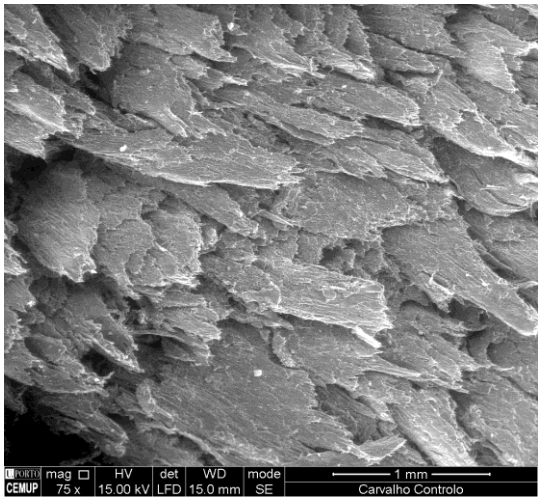
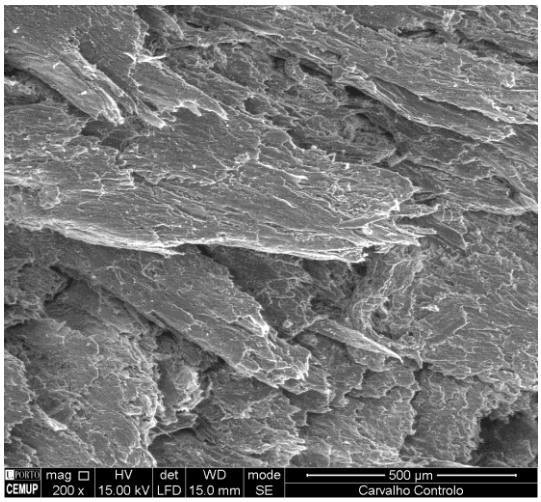
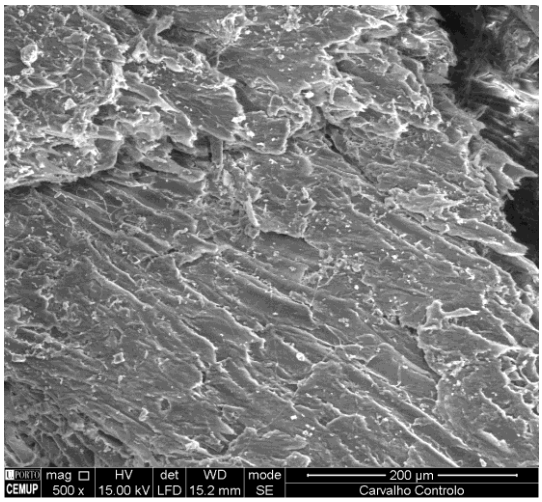
Carvalho (Amostra não submersa em solução de NaClO)	
A	
	
B	C
	

Figura 133 - Imagem MEV da amostra de Carvalho não submersa em concentração de NaClO com aumento x75 (A), x200 (B) e x500 (C)

A figura 134 representa a amostra de Carvalho submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

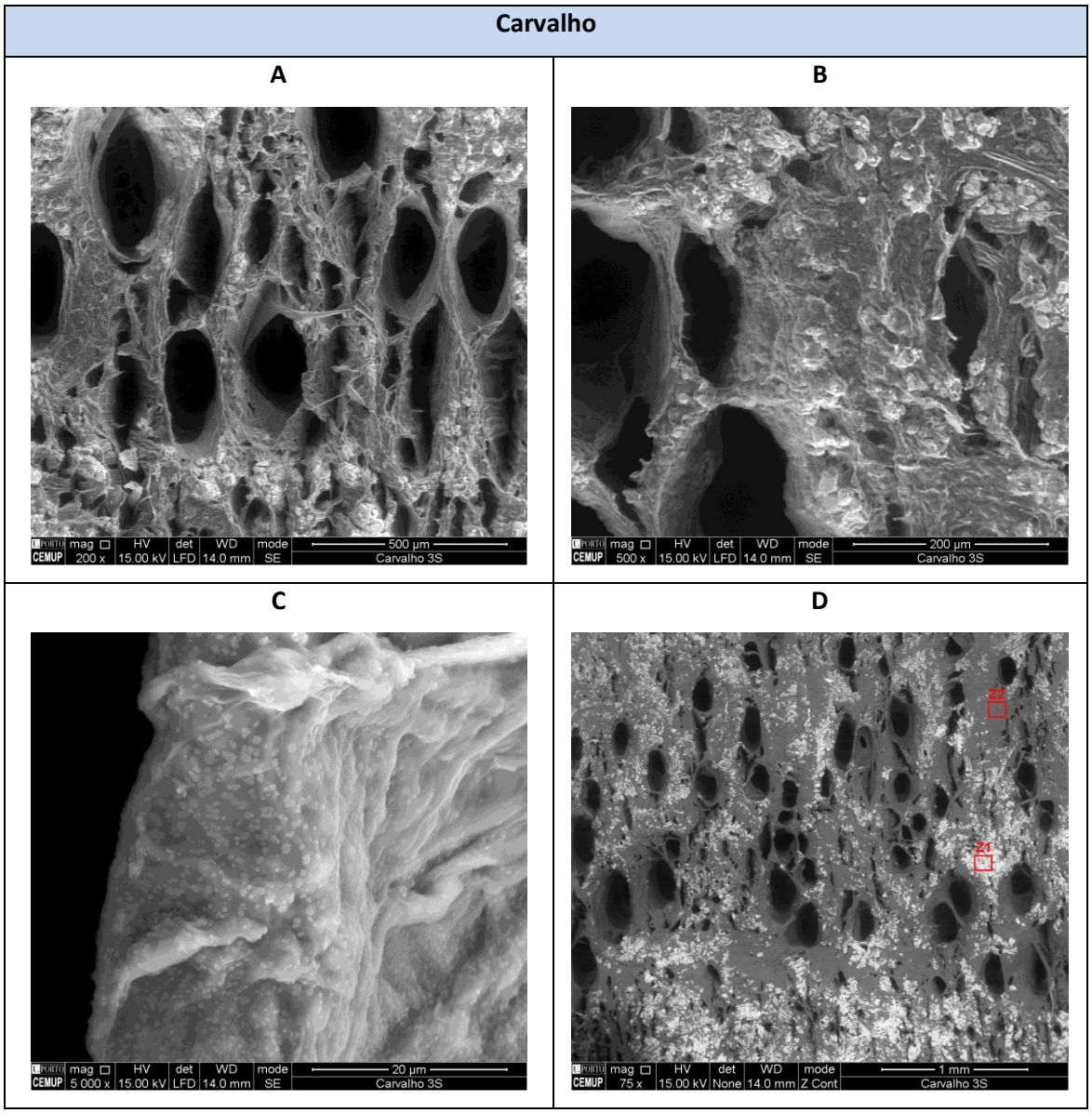


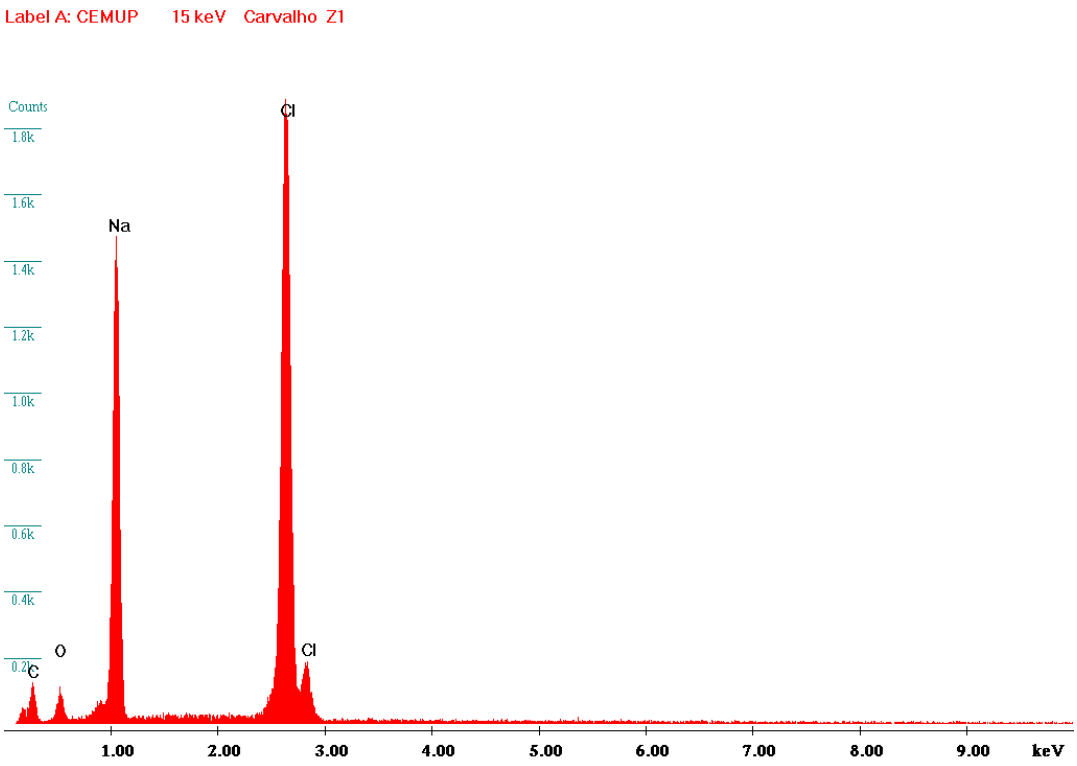
Figura 134 - Imagem MEV da amostra de Carvalho submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x200 (A), x500 (B), x5000 (C) e x75 (D)

Analisando a figura 134, é possível observar na imagem A, B e E, uma elevada quantidade de pontos escuros, que correspondem à presença de poros de elevada dimensão, devido á absorção da solução por parte do material. Nas imagens A, B e D, podemos igualmente observar zonas de coloração branca, representando a presença de sais proveniente da solução de hipoclorito de sódio após a secagem. Na primeira análise visual a olho nu efectuada á amostra, foi possível observar esses sais à superfície do material, significando que foram rejeitados do interior da madeira. A rejeição desses cristais origina a presença de furos, e perda de material, tornando-o mais vulnerável a possíveis ataques corrosivos, visto que o fluido terá maior possibilidade de contacto com o interior do material. Na imagem D, é

possível observar zonas distintas da amostra, permitindo observar e comparar áreas, em que a amostra sofreu ataque corrosivo por parte da solução (Z1 e Z2). Para além de carbono e oxigénio, a zona Z1 apresentou principalmente um elevado teor de cloro e de sódio, mostrando tratar-se de um cristal de hipoclorito de sódio. A zona Z2 apresenta igualmente carbono e oxigénio, com um teor mais elevado, quando comparado á zona Z1. No entanto, apesar da zona Z2 não apresentar uma coloração branca, significando a presença de hipoclorito de sódio, foi igualmente detectada a presença de cloro e de sódio. Na imagem C, foi realizado um aumento da zona Z2, na qual se pode verificar a presença de sais de hipoclorito de sódio junto às fibras de madeira. A presença desses sais fixados à fibra do material são de difícil remoção, apontando então para um processo contínuo de degradação, mesmo após ter sido retirada da solução, e de uma limpeza rigorosa do material. Estes factos constatam-se evidentemente através da análise EDS apresentados nas imagens A e B da figura 135. Comparando as imagens da figura 134 com as imagens da figura 133, podemos verificar uma diferença evidente do estado da material, no qual se pode verificar um claro aumento do diâmetro dos poros, assim como a destruição das fibras.

Com esta análise, é possível comprovar o aumento de peso e perda de material observado nas análises visuais e por perda de massa realizadas anteriormente. Podemos ainda observar que a madeira de Carvalho apresenta um aspecto de maior degradação, quando comparado com a madeira de Faia, comprovando a perda de material observado na análise visual. Contudo, a amostra de Carvalho apresenta também uma estrutura com maior capacidade de absorção de fluido, devido ao tamanho dos poros observados, comprovando o aumento de peso verificado na análise de variação de peso.

A



B

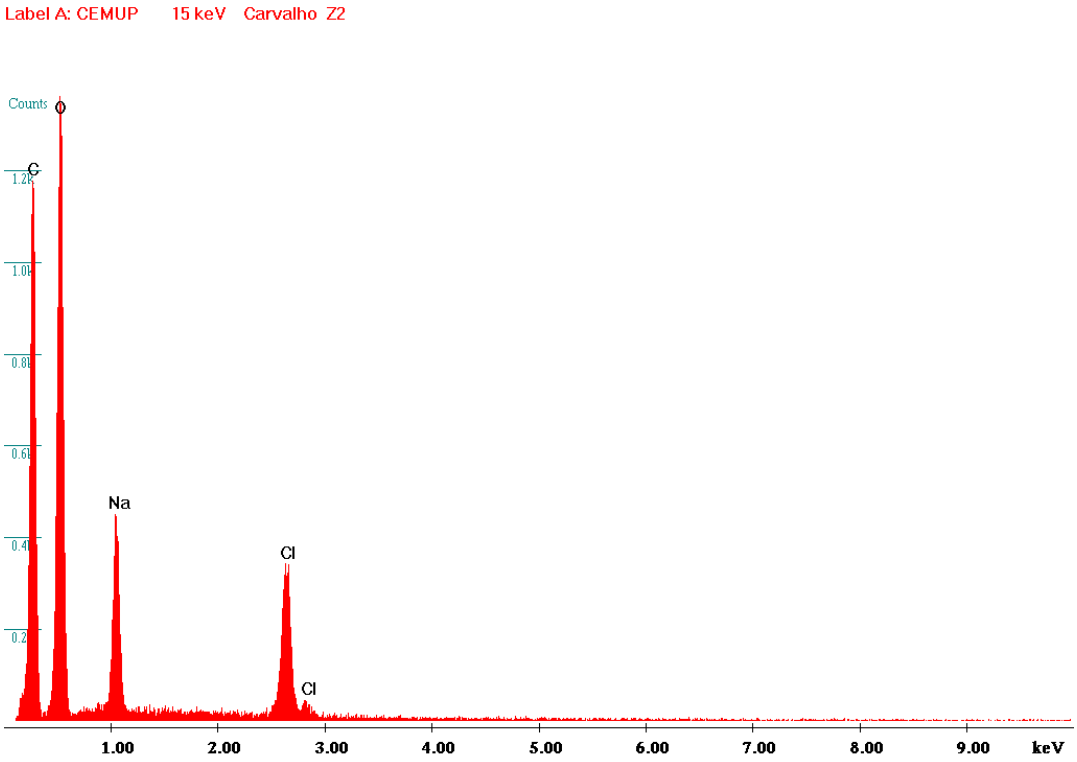


Figura 135 - Caracterização dos elementos químicos presentes na zona Z1 (A) e Z2 (B) da amostra de Carvalho observada na figura anterior

3.8.3.3.4. Resultados obtidos por análise de espectrometria

Nesta fase do estudo, considerou-se uma primeira amostra de cada material, que não teve contacto algum com NaClO, na qual já se conhecia a composição química, visto ter sido analisada anteriormente através da mesma metodologia (amostra padrão), e uma segunda amostra de cada material como desconhecida (amostra submersa 3 semanas em NaClO). Após a obtenção de resultados da análise das duas amostras, comparou-se a composição química da amostra considerada desconhecida com a composição química da amostra considerada normal (amostra padrão).

Aço inoxidável 316L

A tabela 30, abaixo representada, mostra o resultado médio das análises realizadas à composição química da amostra padrão e da amostra 316L submersa em solução de 100% de NaClO de aço inoxidável, durante um período de três semanas.

Tabela 30 - Comparação quantitativa dos valores médios de elementos químicos presentes entre a amostra padrão de aço inoxidável 316L e a amostra de aço inoxidável 316L submersa em 5% NaClO, após três semanas de imersão

Aço inoxidável 316L (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
amostra padrão	0.0216	0.374	1.351	0.0339	<0.0006	16.959	10.308	2.042	0.0273
3 semanas	0.0287	0.362	1.316	0.0294	0.0014	16.983	10.266	1.999	0.0279
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
amostra padrão	0.5523	0.0334	0.0023	0.0128	0.0125	0.0507	0.0616	0.2869	67.87
3 semanas	0.5346	0.0809	0.0012	0.0126	0.0089	0.0446	0.0607	0.2801	67.96

Observando e comparando os dois resultados obtidos, podemos observar que alguns elementos químicos apresentaram valores mais elevados, e pelo contrário, alguns apresentaram teores mais baixos. Na tabela 31, é possível verificar e distinguir os elementos que sofreram um aumento de concentração, assim como os elementos que sofreram uma diminuição da mesma.

Tabela 31 – Intensidade de variação do teor químico presente nos elementos da amostra de aço inoxidável 316L após três semanas de imersão

Aço inoxidável 316L	
Aumento de concentração	Diminuição de concentração
Carbono (C)	Silício (Si)
Enxofre (S)	Manganês (Mn)
Cromo (Cr)	Fosforo (P)
Nióbio (Nb)	Níquel (Ni)
Nitrogénio (N)	Molibdénio (Mo)
Ferro (Fe)	Cobre (Cu)
	Alumínio (Al)
	Titânio (Ti)
	Estanho (Sn)
	Tungsténio (W)
	Vanádio (V)
	Cobalto (Co)

Nesta analise ao aço inoxidável 316L, é possível observar elementos químicos em que a variação foi bastante significativa, e outros menos. No entanto, não quer dizer que o facto de a variação de alguns elementos ser superiores a outros, implique menor resistência à corrosão por parte do material, visto que cada elemento desempenha a sua respectiva função, e que nem todos têm como função de proteger o material. Com uma variação significativa, ou seja, acima dos 10%, apresentam-se os elementos como o carbono (C), fosforo (P), enxofre (S), nitrogénio (N), alumínio (Al), estanho (Sn) e o tungsténio (W). Com uma variação menos considerável, ou seja, entre 1% e 10%, observa-se o silício (Si), manganês (Mn), molibdénio (Mo), Nióbio (Nb), cobre (Cu), titânio (Ti), Vanádio (V) e o Cobalto (Co). Outros elementos apresentaram variações baixas, ou seja, abaixo de 1%, sendo de referir o cromo (Cr), níquel (Ni), e o ferro (Fe). Estes valores podem ser comprovados mais detalhadamente através da tabela 32.

Tabela 32 - tabela representativa da variação química de cada elemento presente na amostra de aço inoxidável 316L após três semanas de imersão

Variação do teor de aço inoxidável 316L (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
Comparação com a amostra padrão	32,9%	-3,2%	-2,6%	-13,3%	133,3%	0,1%	-0,4%	-2,1%	2,2%
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
Comparação com a amostra padrão	-3,2%	142,2%	-47,8%	-1,6%	-28,8%	-12,0%	-1,5%	-2,4%	0,1%

Aço inoxidável 321

A tabela 33, abaixo representada, mostra o resultado médio das análises realizadas à composição química da amostra padrão e da amostra 321 submersa em solução de 100% de NaClO de aço inoxidável, durante um período de três semanas.

Tabela 33 - Comparação quantitativa dos valores médios de elementos químicos entre a amostra padrão de aço inoxidável 321 e a amostra de aço inoxidável 321 submersa em 5% NaClO, após três semanas de imersão

Aço inoxidável 321 (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
amostra padrão	0.0509	0.534	0.829	0.0396	<0.0006	17.039	9.480	0.225	0.0081
3 semanas	0.0708	0.526	0.798	0.0380	0.0015	17.110	9.548	0.221	0.0046
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
amostra padrão	0.2987	<0.0010	0.0148	0.3499	0.0061	0.0394	0.0706	0.1155	70.90
3 semanas	0.2908	0.0161	0.0157	0.3424	0.0033	0.0329	0.0684	0.1084	70.81

Observando e comparando os dois resultados obtidos, podemos igualmente observar que alguns elementos químicos apresentaram valores mais elevados, e pelo contrário, alguns apresentaram teores mais baixos. Na tabela 34, é possível verificar e distinguir os elementos que sofreram um aumento de concentração, assim como os elementos que sofreram uma diminuição da mesma.

Tabela 34 - Intensidade de variação do teor químico presente nos elementos da amostra de aço inoxidável 321 após três semanas de imersão

Aço inoxidável 321	
Aumento de concentração	Diminuição de concentração
Carbono (C)	Silício (Si)
Enxofre (S)	Manganês (Mn)
Cromo (Cr)	Fosforo (P)
Níquel (Ni)	Molibdénio (Mo)
Nitrogénio (N)	Nióbio (Nb)
Alumínio (Al)	Cobre (Cu)
	Titânio (Ti)
	Estanho (Sn)
	Tungsténio (W)
	Vanádio (V)
	Cobalto (Co)
	Ferro (Fe)

Nesta analise ao aço inoxidável 321, é igualmente possível observar elementos químicos em que a variação foi bastante significativa, e outros menos. No entanto, não quer dizer que o facto de a variação de alguns elementos ser superiores a outros, implique menor resistência à corrosão por parte do material, visto que cada elemento desempenha a sua respectiva função, e que nem todos têm como função de proteger o material. Com uma variação significativa, ou seja, acima dos 10%, apresentam-se os elementos como o carbono (C), enxofre (S), Nióbio (Nb), nitrogénio (N), estanho (Sn) e o tungsténio (W). Com uma variação menos considerável, ou seja, entre 1% e 10%, observa-se o silício (Si), manganês (Mn), fosforo (P), molibdénio (Mo), cobre (Cu), alumínio (Al), titânio (Ti), Vanádio (V) e o Cobalto (Co). Outros elementos apresentaram variações baixas, ou seja, abaixo de 1%, sendo de referir o cromo (Cr), níquel (Ni), e o ferro (Fe). Estes valores podem ser comprovados mais detalhadamente através da tabela 35.

Tabela 35 - tabela representativa da variação química de cada elemento presente na amostra de aço inoxidável 321 após três semanas de imersão

Variação do teor de aço inoxidável 321 (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
Comparação com a amostra padrão	39,1%	-1,5%	-3,7%	-4,0%	150,0%	0,4%	0,7%	-1,8%	-43,2%
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
Comparação com a amostra padrão	-2,6%	1510,0%	6,1%	-2,1%	-45,9%	-16,5%	-3,1%	-6,1%	-0,1%

Duplex 14462

A tabela 36, abaixo representada, mostra o resultado médio das análises realizadas à composição química da amostra padrão e da amostra 321 submersa em solução de 100% de NaClO de aço inoxidável, durante um período de três semanas.

Tabela 36 - Comparação quantitativa dos valores médios de elementos químicos entre a amostra padrão de Duplex 14462 e a amostra de Duplex 14462 submersa em 5% NaClO, após três semanas de imersão

Duplex 14462 (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
amostra padrão	0.0167	0.440	1.429	0.0255	<0.0006	22.211	5.771	3.097	0.0101
3 semanas	0.0356	0.434	1.357	0.0237	0.0010	22.045	5.935	3.091	0.0082
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
amostra padrão	0.2100	0.2450	0.0050	0.0069	0.0041	0.0378	0.0638	0.0979	66.33
3 semanas	0.2018	0.2545	0.0046	0.0073	<0.0010	0.0311	0.0638	0.0929	66.41

Observando e comparando os dois resultados obtidos, podemos igualmente observar que alguns elementos químicos apresentaram valores mais elevados, e pelo contrário, alguns apresentaram teores mais baixos. Na tabela 37, é possível verificar e distinguir os elementos que sofreram um aumento de concentração, assim como os elementos que sofreram uma diminuição da mesma.

Tabela 37 - Intensidade de variação do teor químico presente nos elementos da amostra de Duplex 14462 após três semanas de imersão

Duplex 14462	
Aumento de concentração	Diminuição de concentração
Carbono (C)	Silício (Si)
Enxofre (S)	Manganês (Mn)
Níquel (Ni)	Fosforo (P)
Nitrogénio (N)	Cromo (Cr)
Titânio (Ti)	Molibdénio (Mo)
Ferro (Fe)	Nióbio (Nb)
	Cobre (Cu)
	Alumínio (Al)
	Estanho (Sn)
	Tungsténio (W)
	Cobalto (Co)
Sem variação de concentração	
Vanádio (V)	

Nesta analise ao aço inoxidável 321, é igualmente possível observar elementos químicos em que a variação foi bastante significativa, e outros menos. No entanto, não quer dizer que o facto de a variação de alguns elementos ser superiores a outros, implique menor resistência à corrosão por parte do material, visto que cada elemento desempenha a sua respectiva função, e que nem todos têm como função de proteger o material. Com uma variação significativa, ou seja, acima dos 10%, apresentam-se os elementos como o carbono (C), enxofre (S), Nióbio (Nb), estanho (Sn) e o tungsténio (W). Com uma variação menos considerável, ou seja, entre 1% e 10%, observa-se o silício (Si), manganês (Mn), fosforo (P), níquel (Ni), cobre (Cu), nitrogénio (N), alumínio (Al), titânio (Ti) e o Cobalto (Co). Outros elementos apresentaram variações baixas, ou seja, abaixo de 1%, sendo de referir o cromo (Cr), molibdénio (Mo) e o

ferro (Fe). Estes valores podem ser comprovados mais detalhadamente através da tabela 38. Um facto interessante e distinto, quando comparado com os restantes elementos químicos, verificou-se no Vanádio (V), visto que este elemento químico manteve o mesmo teor na amostra padrão e na amostra submersa tres semanas em 100% de NaClO.

Tabela 38 - tabela representativa da variação química de cada elemento presente na amostra de Duplex 14462 após três semanas de imersão

Variação do teor de Duplex 14462 (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
Comparação com a amostra padrão	113,2%	-1,4%	-5,0%	-7,1%	66,7%	-0,7%	2,8%	-0,2%	-18,8%
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
Comparação com a amostra padrão	-3,9%	3,9%	-8,0%	5,8%	-75,6%	-17,7%	0,0%	-5,1%	0,1%

De uma forma geral, comparando as três amostras submersas num período de tempo de três semanas com as respectivas amostras padrão, foi possível observar que o carbono, enxofre, estanho e tungsténio, sofreram uma variação superior a 10%. O silício, manganês, cobre, titânio e cobalto, sofreram uma variação média, entre 1% e 10%. Por fim, o cromo e o ferro apresentaram variações baixas, inferiores a 1%. Estes resultados foram verificados simultaneamente em ambas as amostras. Um dos elementos mais importantes, no que diz respeito à resistência à corrosão de um material, é o molibdénio. Nestas análises, verificou-se que o molibdénio apresentou uma variação entre 1% e 10% nos aços inoxidáveis 316L e 321, enquanto no Duplex 14462, a variação deste elemento foi abaixo de 1%. O níquel é igualmente um elemento importante, no que diz respeito à resistência à corrosão dos materiais. Nos resultados obtidos, verificou-se uma variação abaixo de 1% nos aços inoxidáveis 316L e 321, enquanto se verificou uma variação média, entre 1% e 10% no Duplex 14462. No nitrogénio, também se verificou um comportamento semelhante aos anteriormente referidos, verificando-se uma variação muito acima de 10% nos aços inoxidáveis 316L e 321, e uma variação média, entre 1% e 10% no Duplex 14462.

3.8.3.3.5. Resultados obtidos em ensaio de tracção

Neste trabalho foram realizados ensaios experimentais de tracção uniaxial, em duas amostras de cada material submersas em soluções e tempos distintos, e uma amostra padrão, como se pode verificar na tabela 39:

Tabela 39 - Características das amostras utilizadas para cada material quanto à concentração de NaClO utilizada e ao tempo de imersão das mesmas

Características das amostras utilizadas para cada material		
Quantidade	Concentração de NaClO	Tempo de imersão
1 (Padrão)	0%	0 Dias
1	5%	3 Semanas
1	100%	3 Semanas

Para a realização dos ensaios de tracção, os materiais foram divididos em três grupos, mais precisamente:

- Materiais metálicos;
- Materiais poliméricos;
- Madeira.

Os factos verificados nesta análise podem igualmente ser influenciados pela não realização de um pré-tratamento das amostras, o que ocasionalmente pode influenciar a resistência do material. No entanto, este estudo tem como objectivo analisar o comportamento dos materiais em condições de serviço contactando com cloro, não tendo também qualquer tipo de tratamento até à degradação total dos mesmos.

3.8.3.3.5.1. Resultados obtidos nos materiais metálicos em ensaio de tracção

Aço inoxidável 316L

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram distintos os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

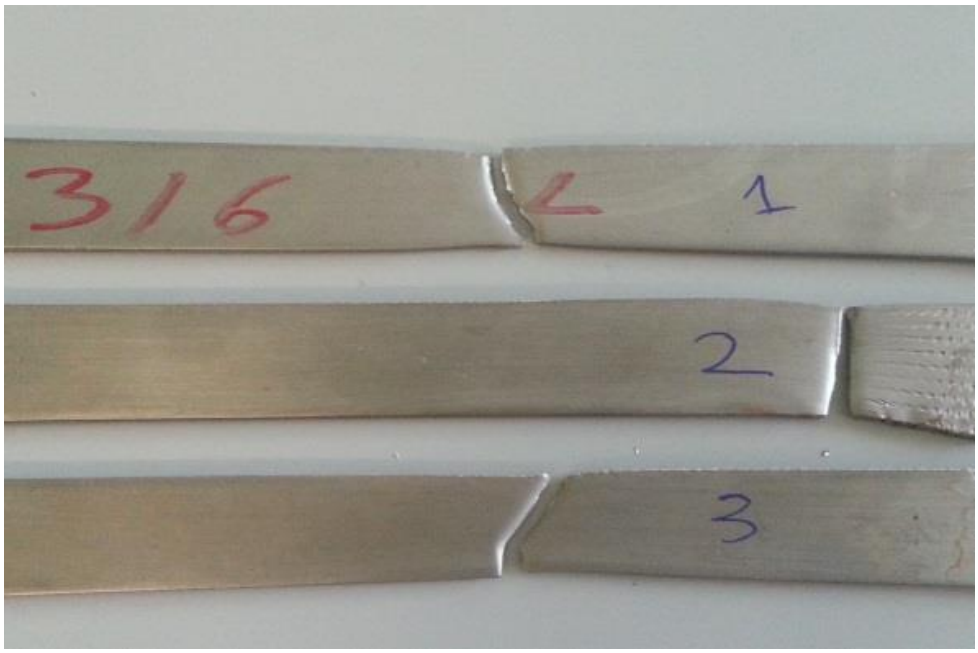


Figura 136 – Amostras de aço inoxidável 316L submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três semanas em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 136, é possível verificar que a amostra padrão e a amostra submersa em 100% de NaClO sofreram rotura sensivelmente na mesma zona, enquanto a amostra submersa em 5% de NaClO sofreu rotura junto à zona de aperto das garras da máquina de ensaio.

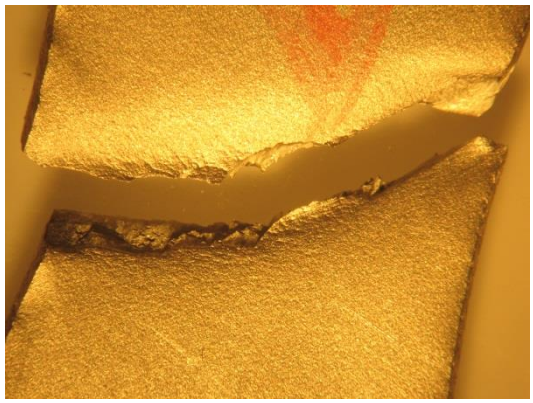
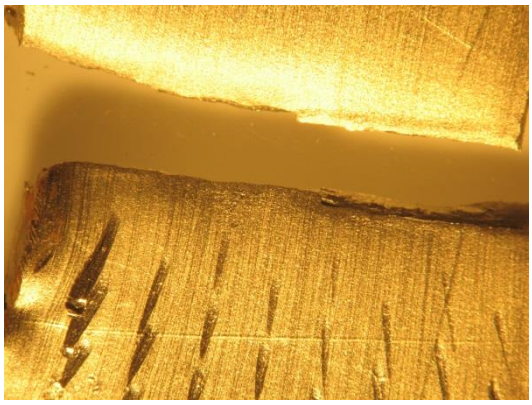
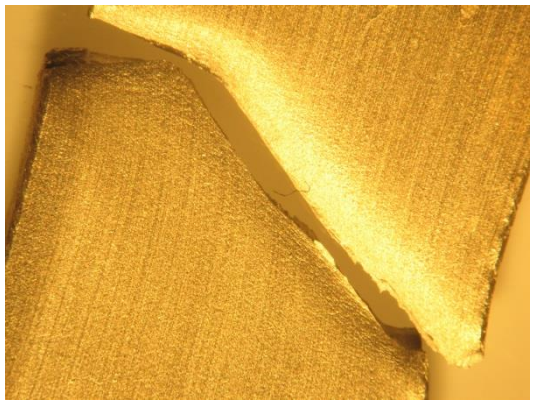
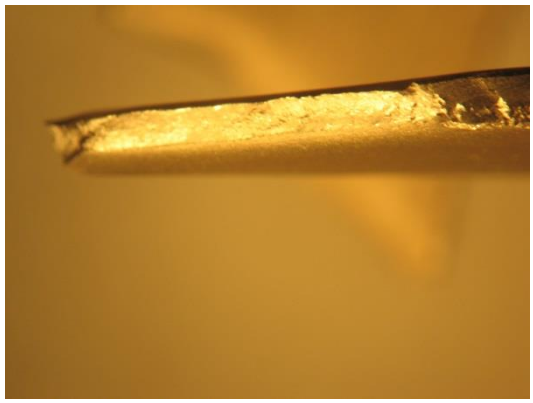
Amostra Padrão	
A	
	
5% NaClO	100% NaClO
B	C
	
D	E
	

Figura 137 - Pormenor da zona de fractura das amostras de aço inoxidável 316L: amostra padrão (A), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (B), amostra submersa em três semanas em100% NaClO (C), corrosão junto à zona de fractura da amostra submersa três semanas em 5% NaClO (D) e corrosão junto a zona de fractura da amostra submersa três semanas em 100% NaClO (E)

Na figura 137, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas (imagem A, B e C), verificando-se a semelhança do aspecto da fractura entre a amostra padrão e a amostra submersa em 100% de NaClO. A fractura da amostra submersa em 5% de NaClO apresentou-se mais perto da extremidade da mesma (imagem B). Este facto, assim como um menor alongamento quando comparado á amostra padrão e á amostra submersa em 100% de NaClO, deve-se à presença de corrosão na área lateral da amostra submersa em 5% de NaClO (imagem D), reduzindo a resistência do material nessa zona. O facto da amostra submersa em 100% de NaClO apresentar um aspecto de fractura semelhante à amostra padrão, deve-se possivelmente a inexistência aparente de corrosão na área útil sujeita à tracção (imagem E), apresentando no ensaio um comportamento semelhante à amostra padrão, que não apresenta zonas de corrosão, como seria de esperar.

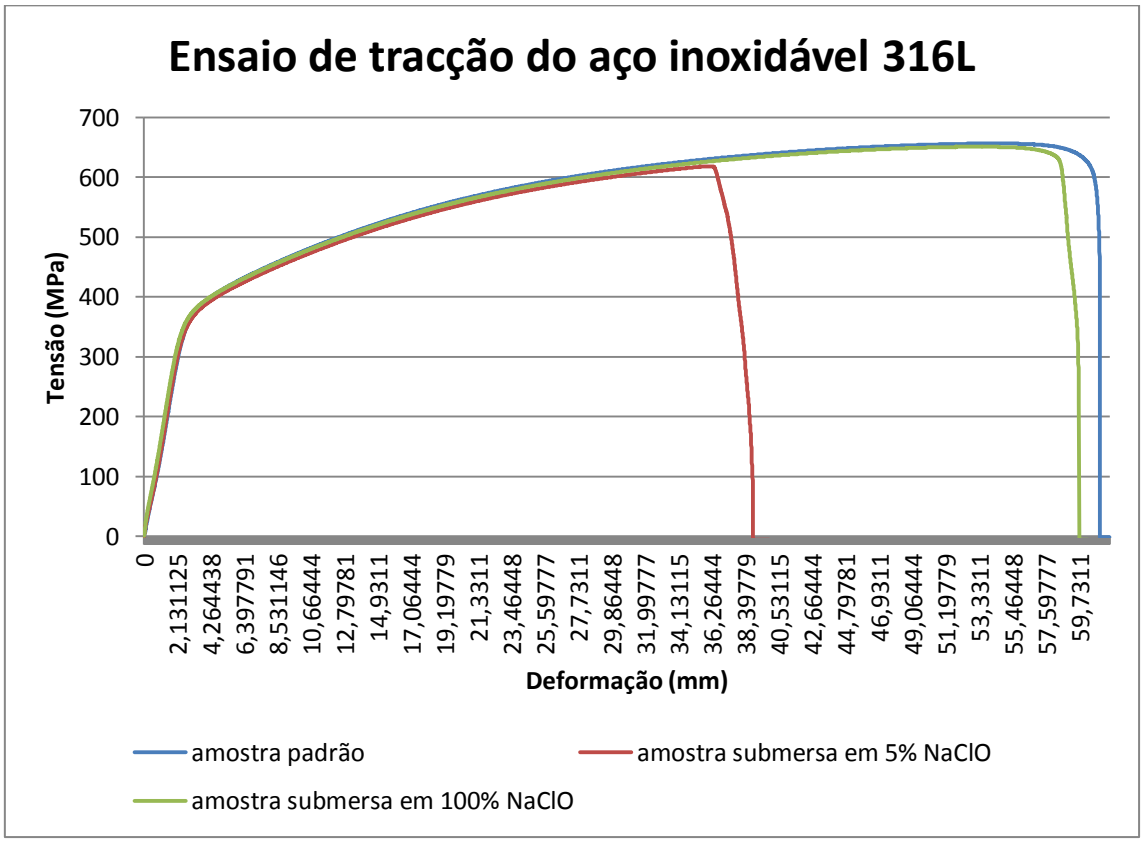


Gráfico 11 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de aço inoxidável 316L referente à amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 11, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, no qual é possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra submersa em 5% de NaClO

foram bastante afectadas pela corrosão, verificando-se de imediato um alongamento significativamente menor que a amostra padrão. A amostra padrão e a amostra submersa em 100% de NaClO apresentam resultados aparentemente semelhantes, apresentando no entanto, um alongamento maior na amostra padrão, como seria de esperar. Visualmente, a amostra submersa em 100% de NaClO não apresentou corrosão junto à zona de rotura, no entanto, como já foi comprovado através de outras análises efectuadas neste estudo, o material sofreu ataque por parte da solução de NaClO, justificando a diminuição das propriedades do material. Contudo, podemos verificar que as três amostras mostram comportamentos semelhantes no domínio elástico, verificando-se apenas comportamentos diferentes no domínio plástico e de rotura do material. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se observar através do gráfico 11 que o material praticamente não apresenta estricção, verificando-se no entanto um comportamento mais frágil nas amostras submersas em NaClO.

Tabela 40 - Valores atingido pelo aço inoxidável 316L na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	39382,7	60	656,379	54,49
5% NaClO	37106,9	60	618,449	36,24
100% NaClO	39052,5	60	650,875	53,48
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm^2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	28553,8	60	475,897	61,03
5% NaClO	4942,56	60	82,3760	38,89
100% NaClO	19348,3	60	322,472	59,65

A tabela 40 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma. Esta tabela comprova a analise efectuada atreves do gráfico, podendo-se verificar que as amostras submersas em NaClO apresentaram valores de tensão máxima, de rotura e alongamento mais baixos que a amostra padrão, devido ao ataque da solução. Podemos ainda verificar que a

amostra submersa em 5% de NaClO é a que apresenta os valores mais baixos, e que a amostra submersa em 100% de NaClO apresenta valores próximos da amostra padrão.

Importa referir, que estas amostras tiveram um comportamento contrario ao esperado, visto que a amostra submersa em 100% NaClO deve apresentar maior degradação, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção, como seria de esperar. Este facto pode ser explicado por a amostra submersa em 100% NaClO não apresentar corrosão na área de comprimento útil da amostra para o ensaio, ao contrário da amostra submersa em 5% NaClO. Contudo, outras análises já referidas anteriormente mostraram maior degradação na amostra submersa em 100% NaClO.

Aço inoxidável 321

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram distintos os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

Figura 138 - Amostras de aço inoxidável 321 submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três semanas em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 138, é possível verificar que a amostra submersa em 5% e 100% de NaClO sofreram rotura sensivelmente na mesma zona, mais precisamente junto à zona de aperto das garras da máquina de ensaio, enquanto a amostra padrão sofreu rotura junto próximo da zona central.

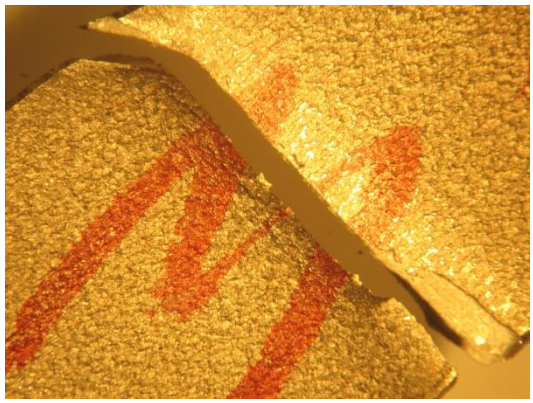
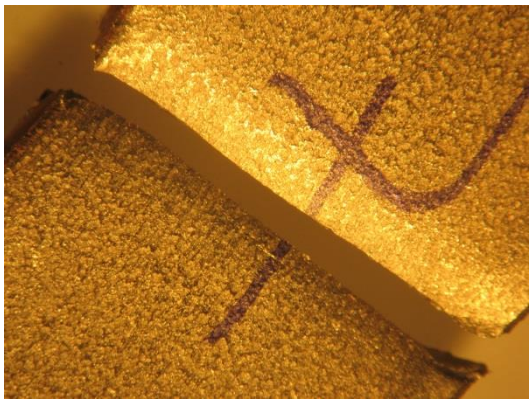
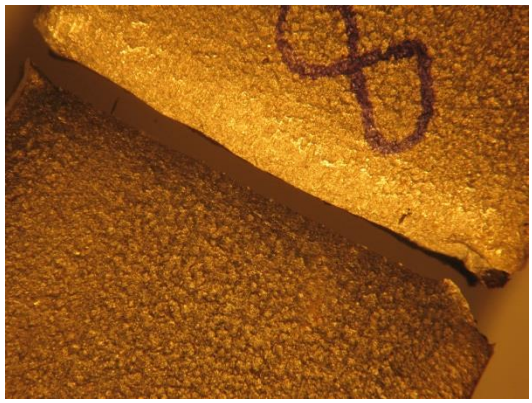
Amostra Padrão	
A	
	
5% NaClO	100% NaClO
B	C
	
D	E
	

Figura 139 - Pormenor da zona de fractura das amostras de aço inoxidável 321: amostra padrão (A), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (B), amostra submersa em três semanas em100% NaClO (C), corrosão junto à zona de fractura da amostra submersa três semanas em 5% NaClO (D) e corrosão junto a zona de fractura da amostra submersa três semanas em 100% NaClO (E)

Na figura 139, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas (imagem A B e C), Verificando-se um aspecto de fractura semelhante entre a amostra padrão e as duas amostras submersas em solução de NaClO. A fractura da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO apresentou-se mais perto da extremidade das mesmas (imagem B e C). Este facto, assim como um menor alongamento quando comparado á amostra padrão, deve-se à presença de corrosão na área lateral das amostras submersa em NaClO (imagem D e E), reduzindo a resistência do material nessa zona. O facto da amostra padrão apresentar uma zona de fractura distinta das amostras submersas em 5% e 100% de NaClO, deve-se possivelmente a inexistência de corrosão na área útil sujeita à tracção, como seria de esperar.

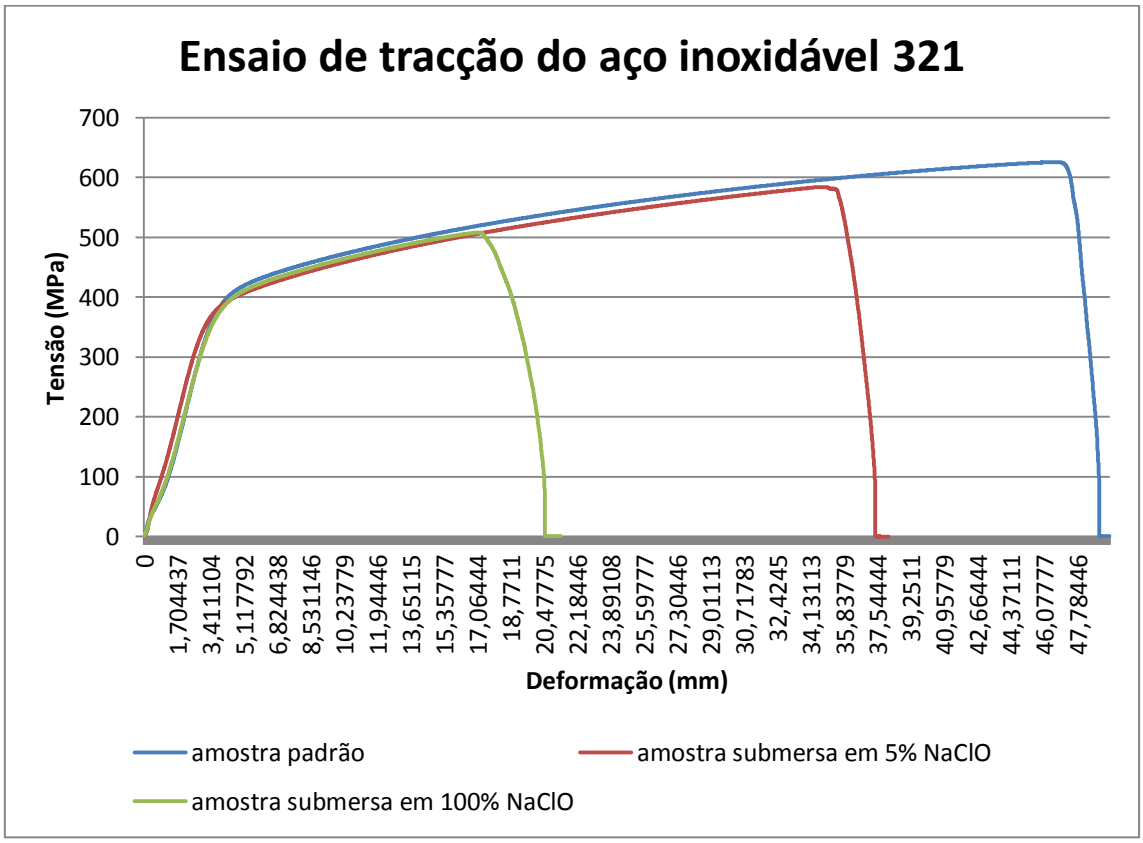


Gráfico 12 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de aço inoxidável 321 referente à amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 12, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, no qual é possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO foram afectadas pela corrosão, verificando-se de imediato um alongamento

significativamente menor que a amostra padrão. Visualmente, no aço inoxidável 321, as amostras submersas em 5% e 100% de NaClO apresentaram corrosão junto à zona de rotura, comprovando os resultados realizados através de outras análises efectuadas neste estudo, as quais indicaram que material sofreu ataque por parte da solução de NaClO, justificando a diminuição das propriedades do material. Contudo, podemos verificar que as três amostras mostram comportamentos semelhantes no domínio elástico, verificando-se apenas comportamentos diferentes no domínio plástico e de rotura do material. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 11 que o material praticamente não apresenta estricção.

Tabela 41 - Valores atingido pelo aço inoxidável 321 na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	50058,7	80	625,734	46,71
5% NaClO	46723,5	80	584,043	34,87
100% NaClO	40613,3	80	507,666	16,98
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm^2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	8476,35	80	105,954	48,91
5% NaClO	7061,37	80	88,267	37,44
100% NaClO	7226,86	80	90,335	20,51

A tabela 41 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma.

Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que as amostras submersas em NaClO apresentaram valores de tensão máxima, de rotura e alongamento mais baixos que a amostra padrão, devido ao ataque da solução.

Importa referir, que estas amostras tiveram um comportamento esperado, visto que as amostras submersas em solução de NaClO apresentaram maior degradação, quando comparado com a amostra padrão, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção, como seria de esperar. Este facto pode ser explicado por a amostra padrão não apresentar

corrosão na área de comprimento útil da amostra para o ensaio, ao contrário das amostras submersas em 5% e 100% de NaClO. Contudo, outras análises já referidas anteriormente comprovaram os resultados obtidos nesta análise por ensaio de tracção.

Duplex 14462

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram semelhantes os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

Figura 140 - Amostras de Duplex 14462 submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três semanas em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 140, é possível verificar que a amostra padrão e as amostras submersas em solução de NaClO sofreram rotura sensivelmente na mesma zona, mais precisamente próximo da zona central.

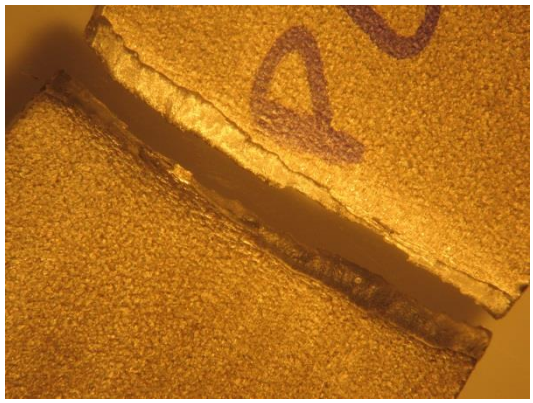
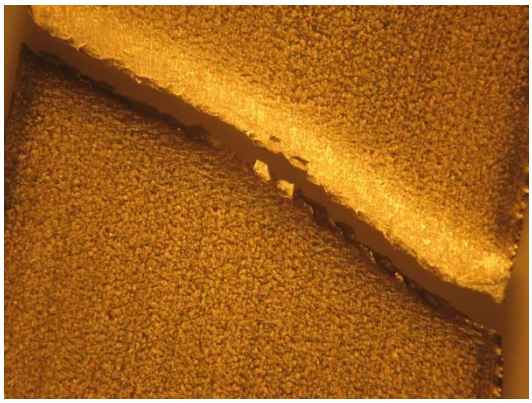
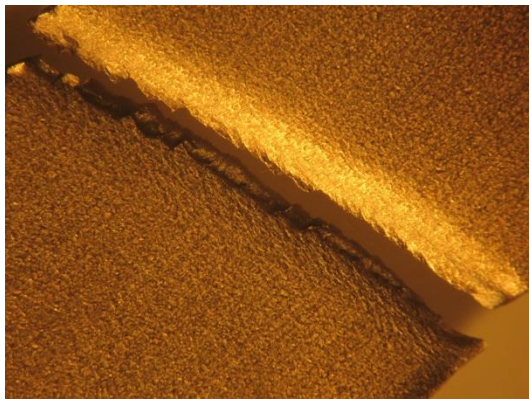
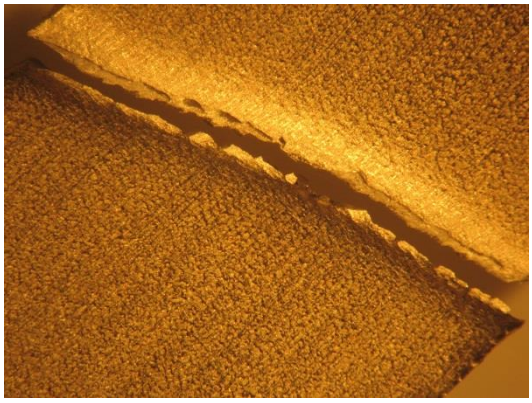
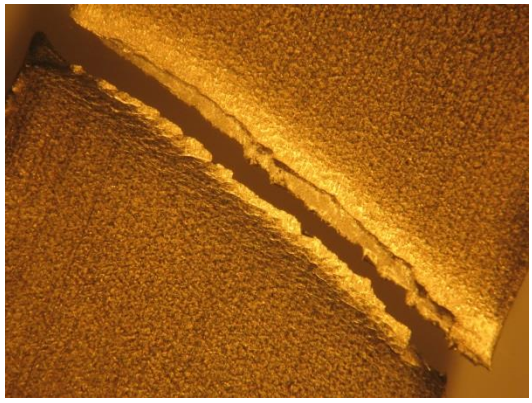
Amostra Padrão	
A 	
5% NaClO	100% NaClO
B 	C 
D 	E 

Figura 141 - Pormenor da zona de fractura das amostras de Duplex 14462: amostra padrão (A), frente da amostra submersa três semanas em 5% NaClO (B), frente da amostra submersa em três semanas em100% NaClO (C), traseira da amostra submersa três semanas em 5% NaClO (D) e traseira da amostra submersa três semanas em 5% NaClO (E)

Na figura 141, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas, Verificando-se um aspecto de fractura semelhante entre a amostra padrão e as duas amostras submersas em solução de NaClO. Este facto, assim como um alongamento semelhante entre as amostras padrão e as amostras submersas nas diluições de 100% de NaClO, deve-se à inexistência de corrosão nas áreas úteis das amostras em estudo, mantendo a resistência do material, como seria de esperar.

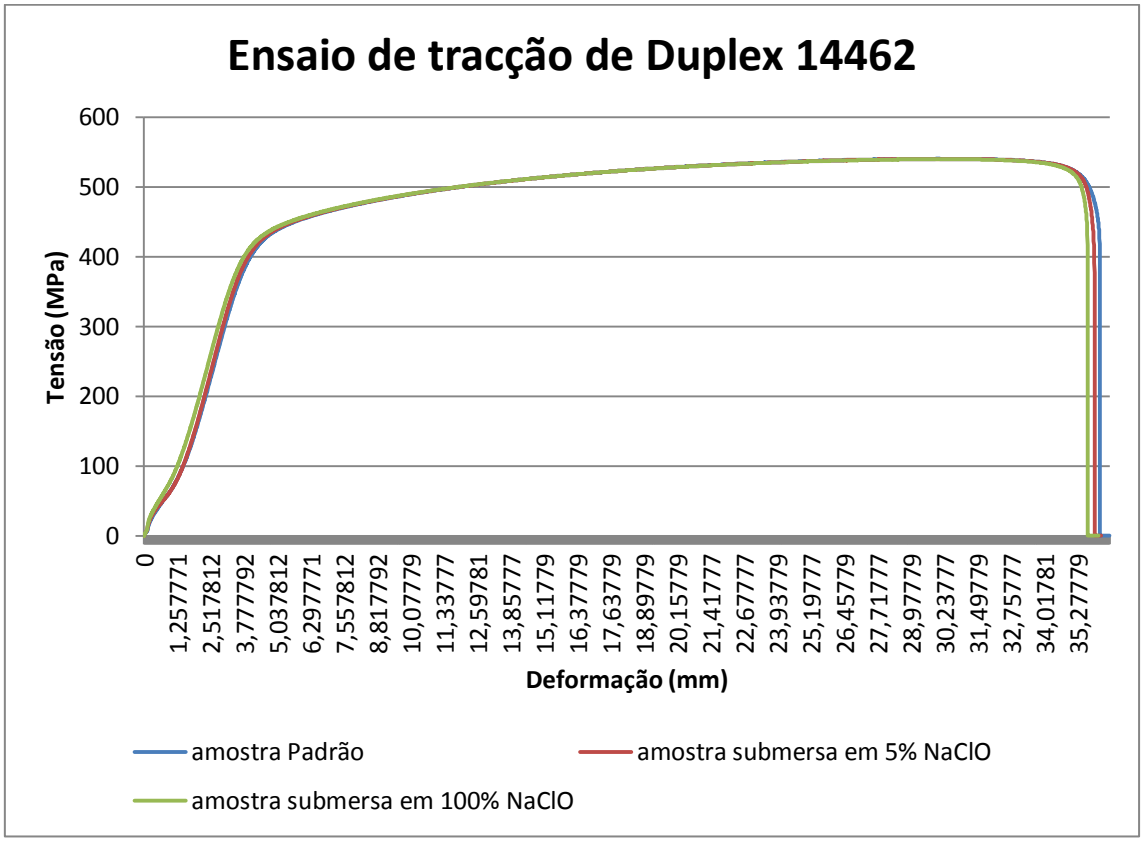


Gráfico 13 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de Duplex 14462 referente à amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 13, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, no qual é possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra Padrão e das amostras submersas em NaClO foram semelhantes, indicando que o duplex 14462 foi imune a qualquer ataque corrosivo por parte da solução de NaClO.

Visualmente, no duplex 14462, nenhuma amostra apresentou corrosão junto à zona de rotura, comprovando alguns resultados realizados através de outras análises efectuadas neste estudo.

No entanto, a análise por variação de peso apresenta uma diminuição do mesmo, significando perda de material, possivelmente devido à degradação do material. Este facto coincide com o gráfico 13, no qual se pode verificar um alongamento mais baixo das amostras submersas em solução de NaClO quando comparado à amostra padrão. Contudo, este facto pode ser praticamente desprezável, visto a diferença de alongamento ser mínima. Podemos ainda verificar que as três amostras mostram comportamentos semelhantes em todos os domínios. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 13 que o material praticamente não apresenta estricção.

Tabela 42 - Valores atingido pelo Duplex 14462 na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	32414,1	40	540,235	29,97
5% NaClO	32403,1	40	540,052	29,98
100% NaClO	32383,0	40	539,716	30,08
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm^2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	25134,1	40	418,902	36,12
5% NaClO	24103,3	40	401,721	35,91
100% NaClO	25896,0	40	431,599	35,65

A tabela 42 acima apresentada, mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma.

Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que as amostras submersas em NaClO apresentaram valores de tensão máxima, de rotura e alongamento semelhantes à amostra padrão, significando que o material foi imune ao ataque corrosivo por parte da solução de NaClO.

Importa referir, que estas amostras tiveram um comportamento esperado, visto que as amostras nunca apresentaram sinais significativos de degradação nas restantes avaliações efectuadas, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção.

3.8.3.3.5.2. Resultados obtidos nos materiais poliméricos em ensaio de tracção

PVC

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram distintos os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

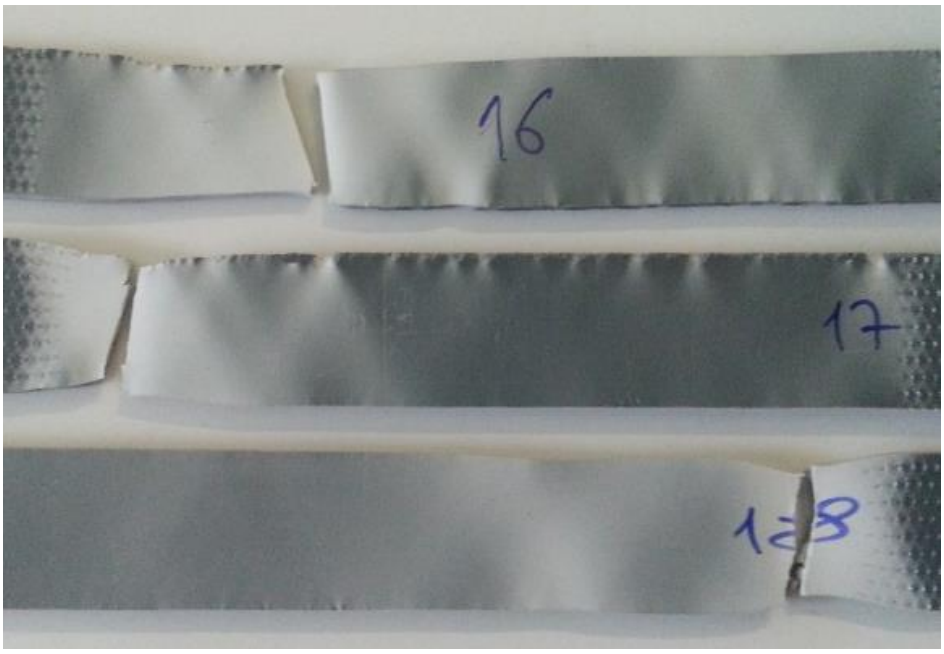


Figura 142 - Amostras de PVC submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três semanas em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 142, é possível verificar que a amostra submersa em 5% e 100% de NaClO, sofreram ambas rotura sensivelmente na mesma zona, mais precisamente junto à zona de aperto das garras da máquina de ensaio, porém ainda na região de comprimento útil, enquanto a amostra padrão sofreu rotura junto próximo da zona central. Além disso, notou-se regiões de coloração esbranquiçada em todo o comprimento útil da amostra padrão antes da rotura, enquanto nas restantes amostras, essa mesma coloração esbranquiçada verifica-se principalmente junto à zona de rotura, mantendo uma coloração semelhante à original no restante comprimento útil da amostra. Isso deve-se à submissão de material a uma energia imposta pelo material.

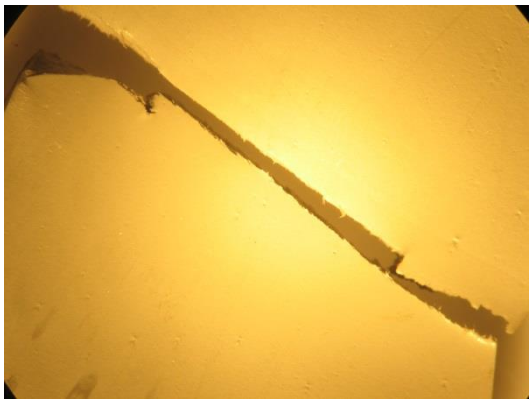
Amostra Padrão	
A	
	
5% NaClO	100% NaClO
B	C
	

Figura 143 - Pormenor da zona de fractura das amostras de PVC: amostra padrão (A), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (B), amostra submersa em três semanas em100% NaClO (C)

Na figura 143, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas (imagem A B e C), verificando-se um aspecto de maior degradação consoante o aumento da concentração de NaClO. No PVC, o aspecto de fractura apresenta-se liso no caso da amostra padrão, enquanto nas amostras submersas em solução de NaClO apresentam alguma rugosidade, notando-se um aumento da mesma, consoante o aumento da concentração de NaClO utilizada. Em ambas as amostras, a fractura mostra-se perpendicular à direcção em que a tensão foi aplicada, e a formação de pescoço foi pouco pronunciado, sendo um fenómeno caracterizado pela redução de área transversal, muito comum nos polímeros.

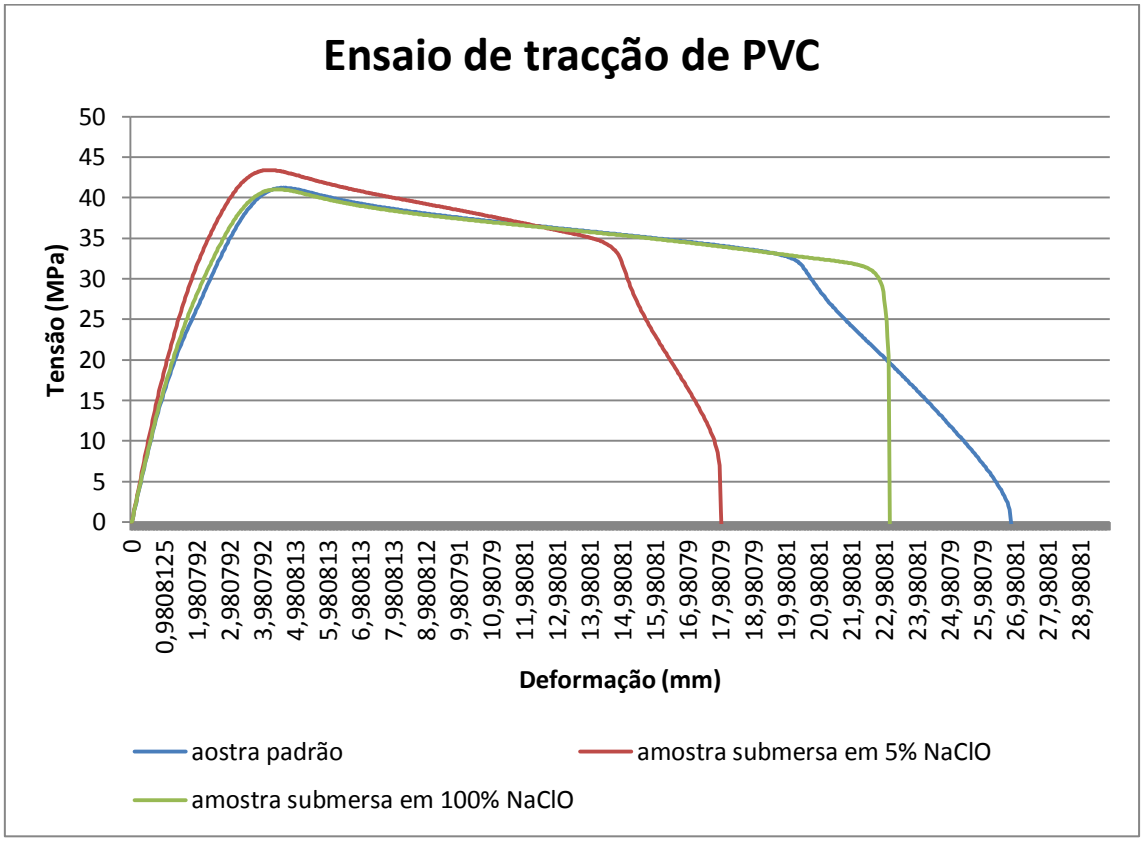


Gráfico 14 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de PVC referente à amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 14, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, no qual é possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO foram afectadas pela degradação provocada pela solução de NaClO, verificando-se de imediato um comportamento significativamente diferente à amostra padrão. Podemos observar através do gráfico 14, uma deformação caracteristicamente plástica da amostra padrão na região de fractura, sendo próprio de uma fractura dúctil. Alem disso, comprova-se ainda, que o efeito do ensaio de tracção não se verificou apenas na zona de fractura, mas também em grande parte do comprimento útil, traduzindo-se por a coloração esbranquiçada já referida anteriormente, ao contrários das restantes amostras, nas quais se verifica uma coloração esbranquiças junto a zona de fractura, mantendo-se uma coloração semelhante à original no restante comprimento útil da amostra. Na amostra submersa em 5% de NaClO, verifica-se uma diminuição significativa da deformação plástica na região de fractura, quando comparado com a amostra padrão, agravando-se na amostra submersa em 100% de NaClO. Contudo, podemos verificar que as três amostras mostram comportamentos semelhantes no domínio elástico, verificando-se apenas comportamentos diferentes no domínio plástico e de rotura do material. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada

inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 14 que o material apresenta menor alongamento na zona de rotura nas concentrações com maior teor de NaClO.

Tabela 43 - Valores atingido pelo PVC na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	2473,84	60	41,203	4,64
5% NaClO	2605,49	60	43,424	4,28
100% NaClO	2462,78	60	41,046	5,51
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm^2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	4,45	60	0,074	26,88
5% NaClO	76,67	60	1,27	18,01
100% NaClO	1230,05	60	20,501	23,14

A tabela 43 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma.

Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que as três amostras submetidas ao ensaio apresentaram valores de força máxima, e alongamento semelhantes. Na zona de rotura, verifica-se uma força significativamente superior na amostra submersa em 100% de NaClO quando comparada às restantes amostras, verificando-se a menor força na amostra padrão. Este facto pode ser explicado pela degradação sofrida pelos materiais submersas em NaClO, reduzindo as propriedades plásticas dos mesmos consoante o aumento do teor de NaClO. Este fenómeno traduz-se neste caso por uma fragilização do material na zona de rotura, enquanto a amostra padrão continua a deformar-se plasticamente na fase de rotura, apresentando por isso valores mais baixos de força de rotura.

Importa referir, que estas amostras tiveram um comportamento esperado, visto que as amostras submersas em solução de NaClO apresentaram maiores sinais de degradação quando comparado com a amostra padrão, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção, como seria de esperar.

PEAD

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram distintos os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

Figura 144 - Amostras de PEAD submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três semanas em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 144, é possível verificar que a amostra padrão e a amostra submersa em 5% de NaClO apresentaram um comportamento semelhante, podendo-se observar um elevado alongamento sem rotura. Pelo contrário, a amostra submersa em 100% de NaClO sofreu rotura sensivelmente na zona central. O facto desta ultima apresentar rotura sem um alongamento significativo, quando comparada com as restantes amostras, deve-se a um entalhe situado na área lateral da amostra, que surgiu possivelmente durante a etapa de processamento ou preparação da amostra, alterando os resultados que seriam de esperar no ensaio de tracção, visto apresentar uma diminuição da área traccionada, criando assim um ponto de fragilidade da amostra. Visualmente, não foi possível observar nas amostras qualquer sinal de degradação provocado pelo ataque da solução de NaClO.

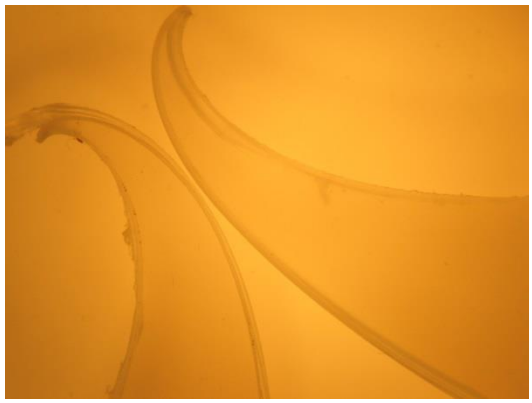
Amostra Padrão	
A 	
5% NaClO	100% NaClO
B 	C  D 

Figura 145 - Pormenor da zona de deformação ou fractura das amostras de PEAD: amostra padrão (A), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (B), amostra submersa em três semanas em100% NaClO (C e D)

Na figura 145, é possível observar mais detalhadamente a zona de deformação elástica (imagem A e B), e da zona de ruptura das amostras traccionadas (imagem C e D), verificando-se um comportamento de deformação semelhante na amostra padrão (imagem A) e na amostra submersa em 5% de NaClO (imagem B), contrariamente à amostra submersa em 100% de NaClO, que apresenta rotura (imagem C e D). Na amostra submersa em 100% de NaClO, verifica-se deformação plástica na zona de rotura assim como a formação de pescoço na amostra, característico dos materiais poliméricos. Este facto mostra que a rotura foi possivelmente causado pelo entalhe presente, e não pelo ataque da solução. Seria de esperar que a amostra apresentasse degradação quando comparado com as restantes amostras, no entanto, apresentaria um resultado mais semelhante às restantes amostras. A amostra padrão e a amostra submersa em 5% de NaClO apresentaram uma grande deformação, sem rotura, interrompendo-se o ensaio quando o limite máximo de curso da máquina foi atingido. O fenómeno desta elevada deformação plástica ocorre em alguns materiais quando são submetidos a tensões numa temperatura e taxas de deformação adequadas. Verifica-se igualmente que a deformação da amostra é muita homogenia, significando que a amostra apresenta elevada resistência em desenvolver uma região de estrangulação, apresentando uma diminuição muito uniforme de dimensões na área útil de tracção. Na amostra padrão e na amostra submersa em 5% de NaClO, verifica-se a formação de pescoço em cada extremidade da amostra, devido à elevada deformação plástica.

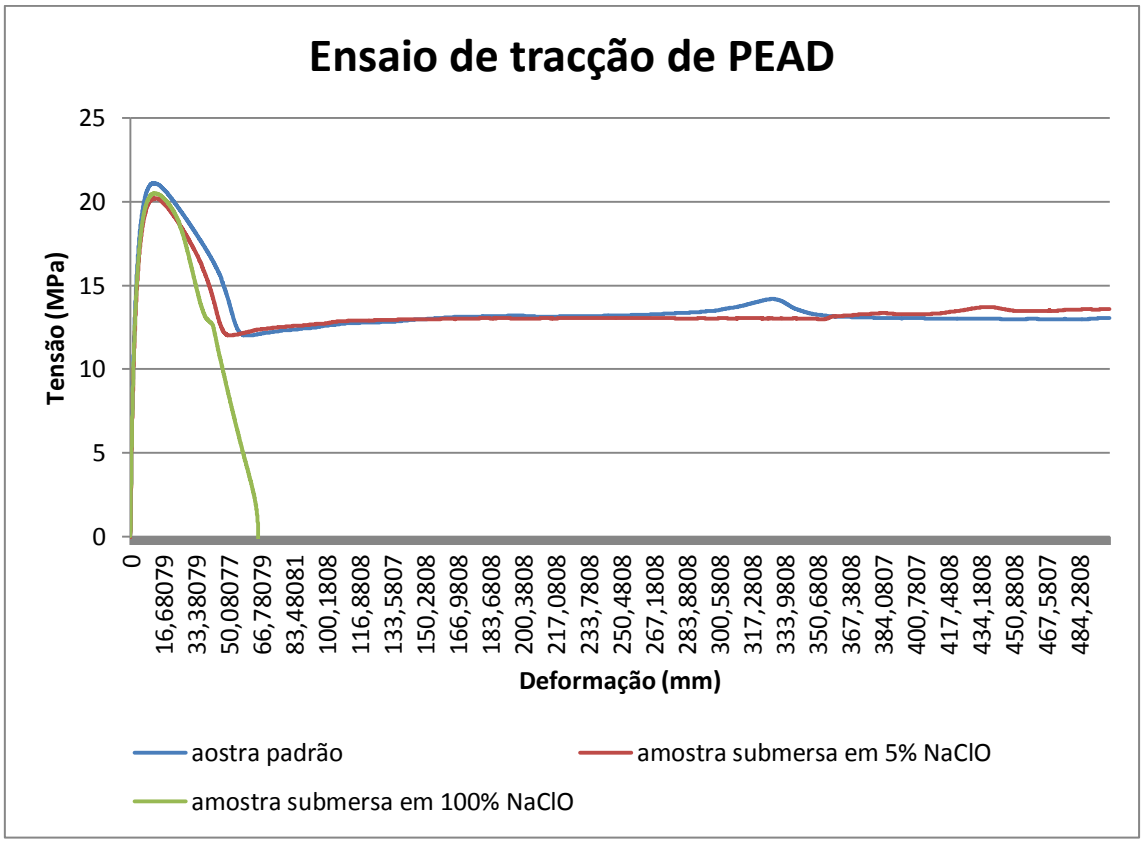


Gráfico 15 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de PEAD referente à amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 15, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, na qual é possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra submersa em 100% de NaClO sofreram um comportamento distintos das restantes amostras. A amostra padrão e a amostra submersa em 5% de NaClO apresentam uma deformação caracteristicamente plástica, sem rotura, com um alongamento de aproximadamente 500mm, correspondendo ao limite de curso da máquina de ensaio. Tendo em conta o defeito contido na amostra submersa em 100% de NaClO, esta apresenta no entanto uma deformação plástica consideravelmente grande na zona de rotura, sendo possível concluir que o material continuou a apresentar um domínio plástico notável após estar submersa na solução, e que o entalhe provocado na amostra foi possivelmente responsável pela rotura. Contudo, na amostra submersa em 100% de NaClO, comprova-se um domínio plástico praticamente nulo após se atingir a força máxima, quando comparado com as restantes amostras, nas quais se verifica uma deformação homogénea permanente, enquanto na amostra submersa em 100% de NaClO, verifica-se um pequeno alongamento, seguindo posteriormente para a rotura. A amostra padrão e a amostra submersa em 5% de NaClO apresentaram um comportamento esperado, em que se verifica uma elevada deformação plástica, indicando que as suas propriedades quanto à deformação

continuam inalteradas. Pode-se considerar nulo o ensaio efectuado à amostra submersa em 100% de NaClO, para fins de comparação, devido a incerteza do motivo de obtenção destes resultados, podendo a alteração do resultado esperado não ter sido caudado pelo ataque da solução de NaClO, mas sim devido a erros de processamento ou de preparação. No entanto, verifica-se que as três amostras apresentaram comportamentos semelhantes no domínio elástico, verificando-se apenas comportamentos diferentes no domínio plástico do material. Podemos então comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 15 que o material apresenta um alongamento semelhante em amostras contactando com meios distintos.

Tabela 44 - Valores atingido pelo PVC na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	1266,21	60	21,103	11,78
5% NaClO	1211,96	60	20,199	12,21
100% NaClO	1229,59	60	20,493	12,88
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	-	60	-	500
5% NaClO	-	60	-	500
100% NaClO	23,14	60	0,385	65,18

A tabela 44 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma. Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que as três amostras apresentaram valores de força máxima semelhantes. Verifica-se igualmente um alongamento semelhante na amostra padrão e a amostra submersa em 5% de NaClO, e a presença de rotura na amostra submersa em 100% de NaClO.

Importa referir que, com excepção da amostra submersa em 100% de NaClO, as restantes amostras apresentaram um comportamento esperado, visto que a elevada deformação plástica é uma das principais características do PEAD, resistindo muito bem a ataques sofridos

por agentes químicos como o NaClO. Não foi por isso possível observar sinais de degradação das amostras submersas em NaClO, quando comparado com a amostra padrão, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção, como seria de esperar. Outras análises já referidas anteriormente comprovaram os resultados obtidos nesta análise por ensaio de tracção.

PP

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram semelhantes os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

Figura 146 - Amostras de PP submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três semanas em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 146, é possível verificar que a amostra padrão e as amostras submersa em NaClO apresentaram um comportamento semelhante, podendo-se observar um elevado alongamento, sem ocorrência de rotura. Visualmente, não foi possível observar nas amostras qualquer sinal de degradação provocado pelo ataque da solução de NaClO.

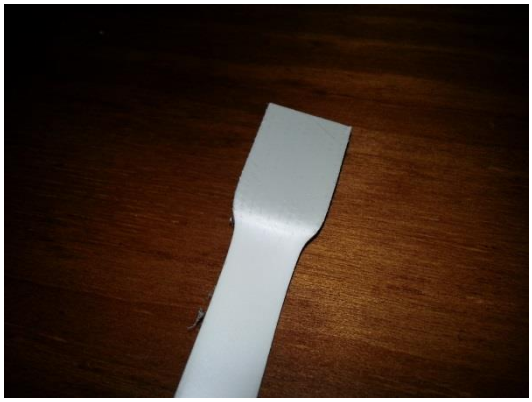
Amostra Padrão	
A	
	
5% NaClO	100% NaClO
B	C
	

Figura 147 - Pormenor da zona de deformação das amostras de PP: amostra padrão (A), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (B), amostra submersa em três semanas em100% NaClO (C)

Na figura 147, é possível observar mais detalhadamente a zona de deformação elástica (imagem A, B e C), verificando-se um comportamento de deformação semelhante em ambas as amostras. A amostra padrão e as amostras submersas em NaClO apresentaram uma grande deformação, sem rotura, interrompendo-se o ensaio quando o limite máximo de curso da máquina foi atingido. O fenómeno desta elevada deformação plástica ocorre em alguns materiais quando são submetidos a tensões numa temperatura e taxas de deformação adequadas. Verifica-se igualmente que a deformação das amostras é homogenia, significando que as amostras apresentam elevada resistência em desenvolver uma região de estrangulação, apresentando uma diminuição uniforme de dimensões na área útil de tracção, verificando-se a formação de pescoço em cada extremidade da amostra, devido à elevada deformação plástica.

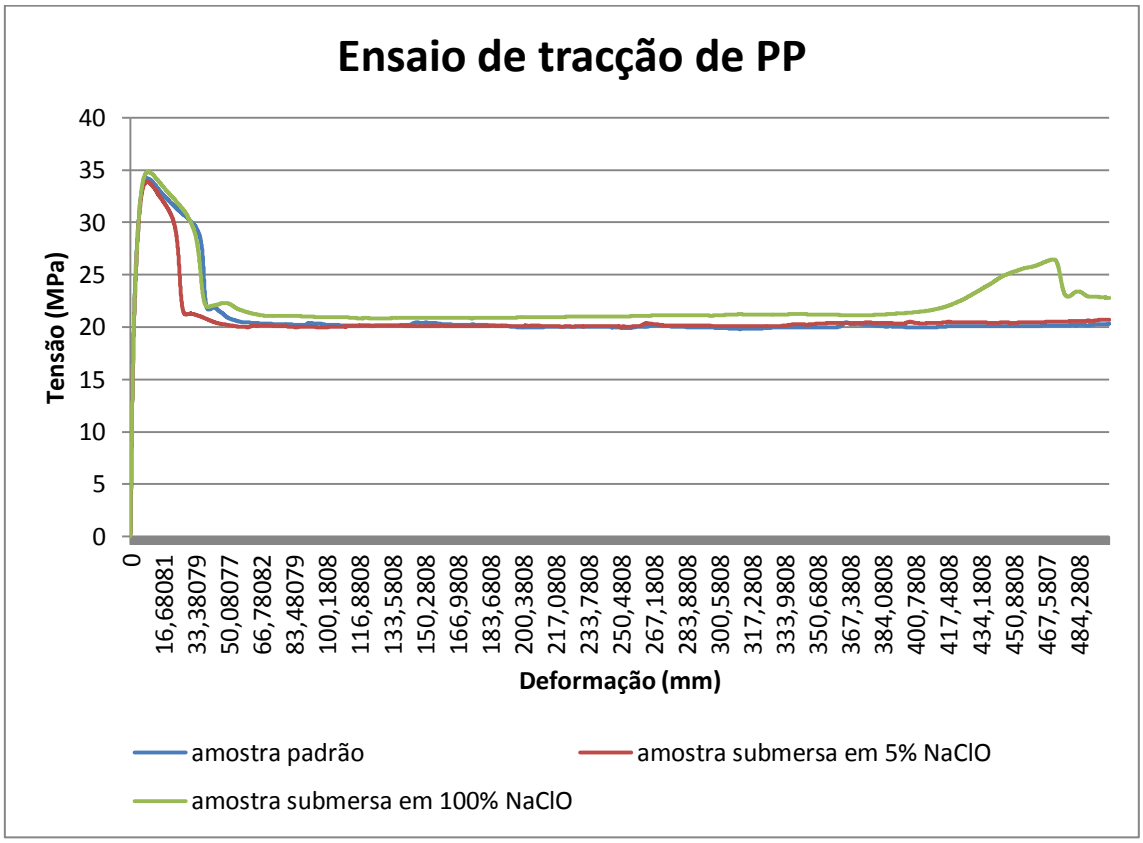


Gráfico 16 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de PP referente à amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 16, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, no qual é possível verificar que as propriedades mecânicas das três amostras mostraram comportamentos semelhantes. As amostras apresentaram uma deformação caracteristicamente plástica, sem rotura, com um alongamento de aproximadamente 500mm, correspondendo ao limite de curso da máquina de ensaio, verificando-se uma deformação homogénea permanente.

A amostra padrão e as amostras submersas em NaClO apresentaram um comportamento esperado, em que se verifica comportamentos semelhantes no domínio elástico e uma elevada deformação plástica, indicando que as suas propriedades quanto à deformação continuam inalteradas. Podemos então comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 16 que o material apresenta um alongamento semelhante nas diversas amostras.

Tabela 45 - Valores atingido pelo PP na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	2051,51	60	34,191	8,64
5% NaClO	2032,63	60	33,877	8,48
100% NaClO	2088,72	60	34,812	8,78
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	-	60	-	500
5% NaClO	-	60	-	500
100% NaClO	-	60	-	500

A tabela 45 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e alongamento em cada amostra, não apresentando valores de rotura devido a inexistência da mesma. Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que as três amostras apresentaram valores de força máxima e alongamentos semelhantes.

Importa referir que todas as amostras tiveram um comportamento esperado, visto que a elevada deformação plástica é uma das principais características do PP, resistindo muito bem a ataques sofridos por agentes químicos como o NaClO. Não foi por isso possível observar sinais de degradação das amostras submersas em NaClO quando comparado com a amostra padrão, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção, como seria de esperar. Outras análises já referidas anteriormente comprovaram os resultados obtidos nesta análise por ensaio de tracção.

3.8.3.3.5.3. Resultados obtidos na madeira em ensaio de tracção

Faia

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram distintos os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

Figura 148 - Amostras de madeira de Faia submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três semanas em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 148, é possível verificar que a amostra submersa em 5% e 100% de NaClO sofreram rotura sensivelmente na mesma zona, mais precisamente junto à zona de aperto das garras da máquina de ensaio. Este facto pode ser justificado por uma diferença significativa de área transversal próximo da zona de rotura, devido ao ataque provocado pela solução de NaClO. Pelo contrário, a amostra padrão sofreu rotura próximo da zona central. A amostra padrão apresenta uma dimensão de área transversal uniforme em todo o seu comprimento. Na amostra submersa em 100% de NaClO, observou-se uma fractura lascada, típica neste tipo de materiais, sendo distinta das restantes fracturas.

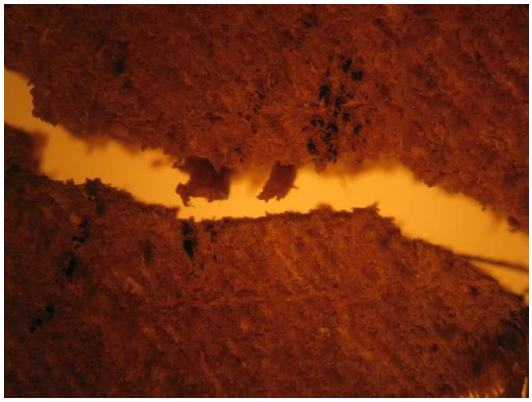
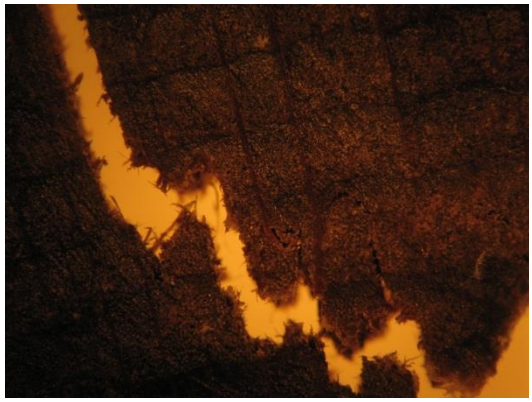
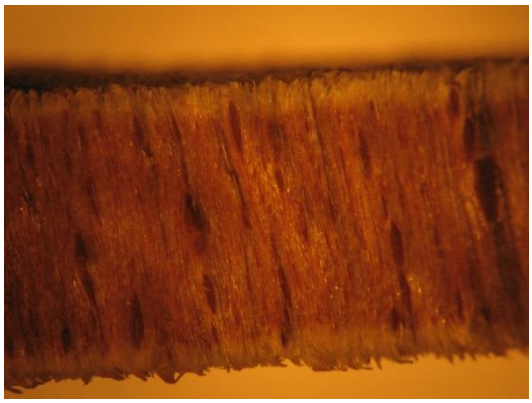
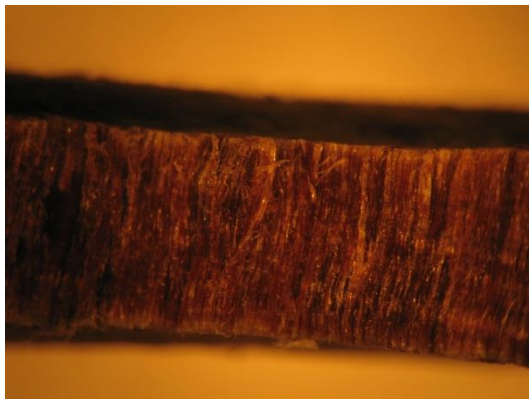
Amostra Padrão	
A	B
	
5% NaClO	100% NaClO
C	D
	
E	F
	

Figura 149 - Pormenor da zona de fractura das amostras de madeira de Faia: amostra padrão (A e B), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (C e E), amostra submersa em três semanas em 100% NaClO (D e F)

Na figura 149, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas, verificando-se um aspecto de fractura distinto entre as três amostras. No caso da amostra padrão e da amostra submersa em 5% NaClO, verifica-se uma rotura de tracção com corte, enquanto a amostra submersa em 100% NaClO, apresenta uma rotura lascada.

A fractura da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO apresentou-se mais perto da extremidade das mesmas (imagem C e D), junto a redução de área transversal. Este facto, assim como um maior alongamento da amostra submersa em 5% NaClO, quando comparado à amostra padrão, deve-se à deterioração das amostras submersas em NaClO (imagem E e F), reduzindo a resistência do material nessa zona. A diferença de secção é provocada pelo sumiço de material originado pelo contacto com NaClO. Principalmente na amostra submersa em 100% de NaClO (imagem D), é possível observar o aspecto de elevada degradação sofrido pelo material, quando comparado com a amostra submersa em 5% de NaClO (imagem C), assim como a amostra padrão (imagem A). O alongamento das amostras submersas, é possivelmente provocado pelo alargamento dos poros do material, sendo ocupado pela solução de NaClO, degradando também a estrutura que oferece resistência ao material, deixando o material alongar mais. Na imagem E, observa-se na amostra submersa em 5% NaClO, uma diferença de coloração nas extremidades da amostra, indicando deterioração da amostra, que originará diminuição das suas dimensões com o aumento de força do ataque, ou com o decorrer de tempo, visto ser um processo irreversível. No entanto, a estrutura interna da madeira de Faia permanece semelhante à estrutura da amostra padrão. Pelo contrário, na amostra submersa em 100% NaClO (imagem F), à semelhança da amostra submersa em 5% NaClO, é possível observar degradação, mas em estado avançado, na qual se verifica a diminuição das dimensões. É igualmente possível observar a degradação da estrutura da amostra, assim como uma zona de coloração mais escura, sendo sinais de deterioração provocado pelo ataque. Estes factos podem ser comprovados pela avaliação efectuada por via de microscopia electrónica.

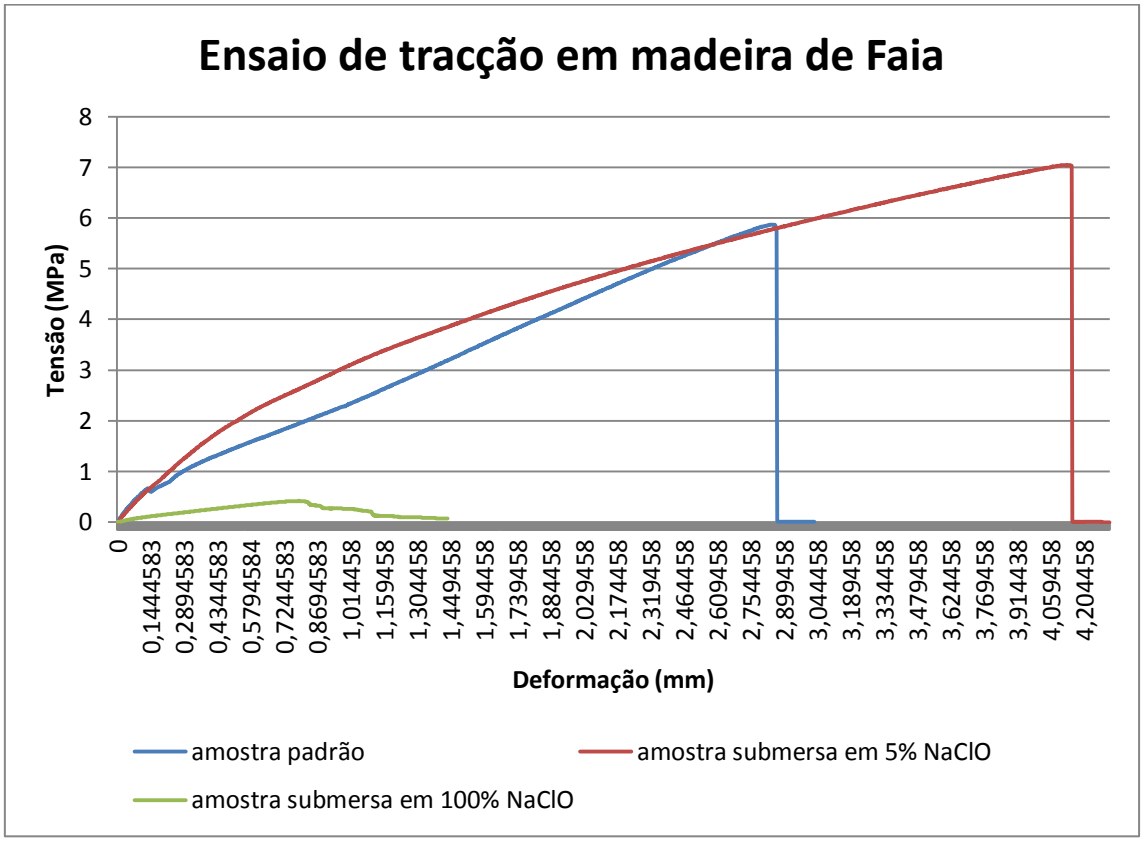


Gráfico 17 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de madeira de Faia referente à amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 17, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, no qual é possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO foram afectadas pela corrosão, verificando-se de imediato um alongamento significativamente maior da amostra submersa em solução de 5% NaClO, quando comparado à amostra padrão. A amostra submersa em 100% NaClO é considerada nula para fins de avaliação, visto apresentar um comportamento inconclusivo. Porem, importa referir que as duas amostras de Faia submersas em 100% NaClO, tiveram que ser avaliadas em condições diferentes das restantes amostras, e dos diversos materiais. Esta amostra foi traccionada com uma distância entre garras de 60 mm, de forma a conseguir-se uma maior área de contacto das garras da máquina de ensaio, ao contrário das restantes amostras que foram traccionadas com uma distância de 90 mm. Na concentração de 100% NaClO, o material apresentava-se muito pastoso, provocando escorregamento das garras da máquina mesmo após a diminuição da distância entre garras, conforme se pode comprovar através do gráfico 17. Importa referir que quando o material foi preso pelas garras, observou-se a libertação de fluido absorvido pelo material quando este esteve submerso em solução de NaClO. Comprova-se então que o

facto de o material apresentar uma textura pastosa, deve-se à elevada quantidade de fluido que permanece no interior da amostra, não se libertando naturalmente. O fluido retido refere-se ao hipoclorito de sódio, visto que este fenómeno apenas se verifica nas amostras submersas nas concentrações de 100% de NaClO. Este facto significa igualmente que este fluido não se liberta tão facilmente como a água, visto que as amostra submersas em 5% de NaClO não apresentaram este fenómeno. Na figura 150, é possível observar a libertação de fluido na amostra, provocado pelo aperto das garras da máquina.

Figura 150 – Libertação de fluido na amostra submersa três semanas em 100% NaClO

Visualmente, na madeira de Faia, as amostras submersas em 5% e 100% de NaClO apresentaram degradação, comprovando os resultados realizados através de outras análises efectuadas neste estudo, as quais indicaram que material sofreu ataque por parte da solução de NaClO. Contudo, podemos verificar que a amostra padrão e a amostra submersa em 5% NaClO, mostram comportamentos semelhantes, apresentando-se como um material frágil. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 17 que o material não apresenta estricção.

Tabela 46 - Valores atingido pela madeira de Faia na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	939,099	160	5,86	2,84
5% NaClO	1127,51	160	7,04	4,12
100% NaClO	66,614	160	0,41	0,79
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm^2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	904,814	160	5,65	2,87
5% NaClO	1124,37	160	7,02	4,15
100% NaClO	-	160	-	-

A tabela 46 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma.

Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que a amostra submersa em 5% NaClO apresentara valores de tensão máxima e de rotura próximos dos valores obtidos pela amostra padrão. No entanto, comprova-se a presença de alongamentos maiores quando comparado à amostra padrão. Como seria de esperar, a amostra submersa em 100% NaClO não apresentou resultados conclusivos. Apenas podemos concluir que esta amostra pode ser considerada como perda total devido ao ataque provocado pela solução de NaClO.

Importa referir, que estas amostras não tiveram um comportamento esperado, visto que as amostras submersas em solução de NaClO deveriam apresentar resultados de forças mais baixos degradação quando comparado com a amostra padrão, quando comparado com os resultados obtidos através de outras avaliações, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção. No entanto, esta avaliação comprova o estudo teórico efectuado nesta tese, onde é explicado o maior alongamento verificado.

Carvalho

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram semelhantes os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

Figura 151 - Amostras de madeira de Carvalho submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três semanas em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 151, é possível verificar que a amostra submersa em 5% e 100% de NaClO sofreram rotura sensivelmente na mesma zona, mais precisamente junto à zona de aperto das garras da máquina de ensaio, verificando-se uma forma de rotura por tracção pura. Este facto pode ser justificado por uma diferença significativa de área transversal próximo da zona de rotura, devido ao ataque provocado pela solução de NaClO. Pelo contrário, a amostra padrão sofreu rotura próximo da zona central. A amostra padrão apresenta uma dimensão de área transversal uniforme em todo o seu comprimento. A amostra submersa em 100% NaClO apresenta um teor mais elevado de humidade quando comparado às restantes amostras, comprovando que o facto de o material apresentar uma coloração mais escura. Este facto deve-se à elevada quantidade de fluido que permanece no interior da amostra, não se libertando naturalmente. O fluido retido refere-se ao hipoclorito de sódio, visto que este fenómeno apenas se verifica nas amostras submersas nas concentrações de 100% de NaClO.

Este facto significa igualmente que este fluido não se liberta tão facilmente como a água, visto que as amostra submersas em 5% de NaClO não apresentaram este fenómeno.

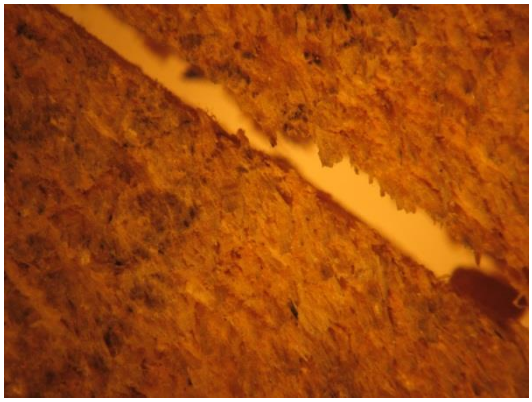
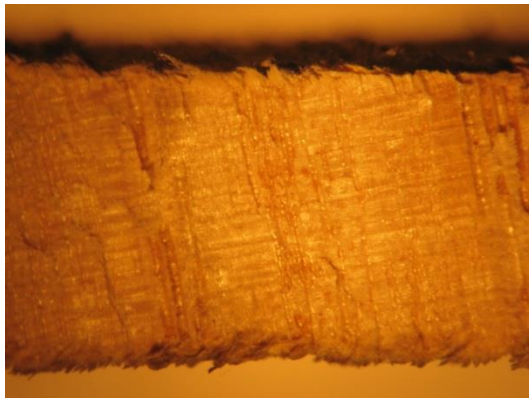
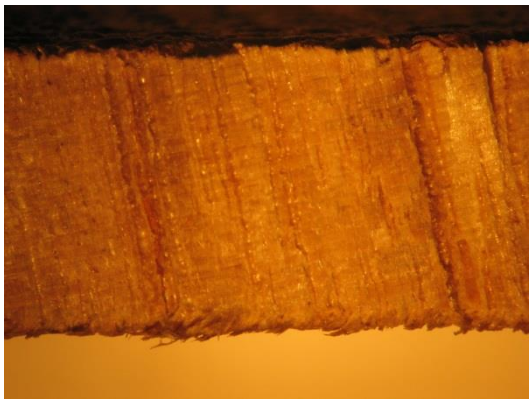
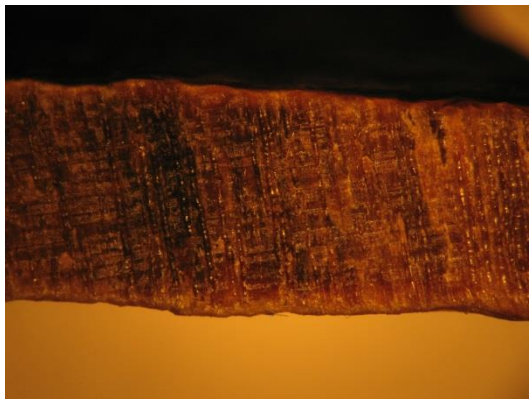
Amostra Padrão	
A	B
	
5% NaClO	100% NaClO
C	D
	
E	F
	

Figura 152 - Pormenor da zona de fractura das amostras de madeira de Carvalho: amostra padrão (A e B), amostra submersa três semanas em 5% NaClO (C e E), amostra submersa em três semanas em100% NaClO (D e F)

Na figura 152, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas, verificando-se um aspecto de fractura distinto entre as três amostras.

A fractura da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO apresentou-se mais perto da extremidade das mesmas (imagem C e D), junto a redução de área transversal. Este facto, assim como um maior alongamento das amostras submersas em NaClO quando comparado á amostra padrão, deve-se à deterioração das amostras submersas em NaClO (imagem E e F), reduzindo a resistência do material nessa zona. A diferença de secção é provocada pelo sumiço de material originado pelo contacto com NaClO. Principalmente na amostra submersa em 100% de NaClO (imagem D), é possível observar o aspecto de degradação sofrido pelo material, quando comparado com a amostra submersa em 5% de NaClO (imagem C), assim como a amostra padrão (imagem A). O alongamento das amostras submersas, é possivelmente provocado pelo alargamento dos poros do material, sendo ocupado pela solução de NaClO, degradando também a estrutura que oferece resistência ao material, deixando o material alongar mais. Na imagem E, observa-se na amostra submersa em 5% NaClO, uma diferença de coloração nas extremidades da amostra, indicando deterioração da amostra, que originará diminuição das suas dimensões com o aumento de força do ataque, e com o decorrer de tempo, visto ser um processo irreversível. No entanto, a estrutura interna da madeira de Carvalho permanece semelhante à estrutura da amostra padrão. Pelo contrário, na amostra submersa em 100% NaClO (imagem F), à semelhança da amostra submersa em 5% NaClO, é possível observar degradação, mas em estado avançado, na qual se verifica a diminuição das dimensões. É igualmente possível observar a degradação da estrutura da amostra, assim como uma zona de coloração mais escura, sendo sinais de deterioração provocado pelo ataque. Estes factos podem ser comprovados pela avaliação efectuada por via de microscopia electrónica.

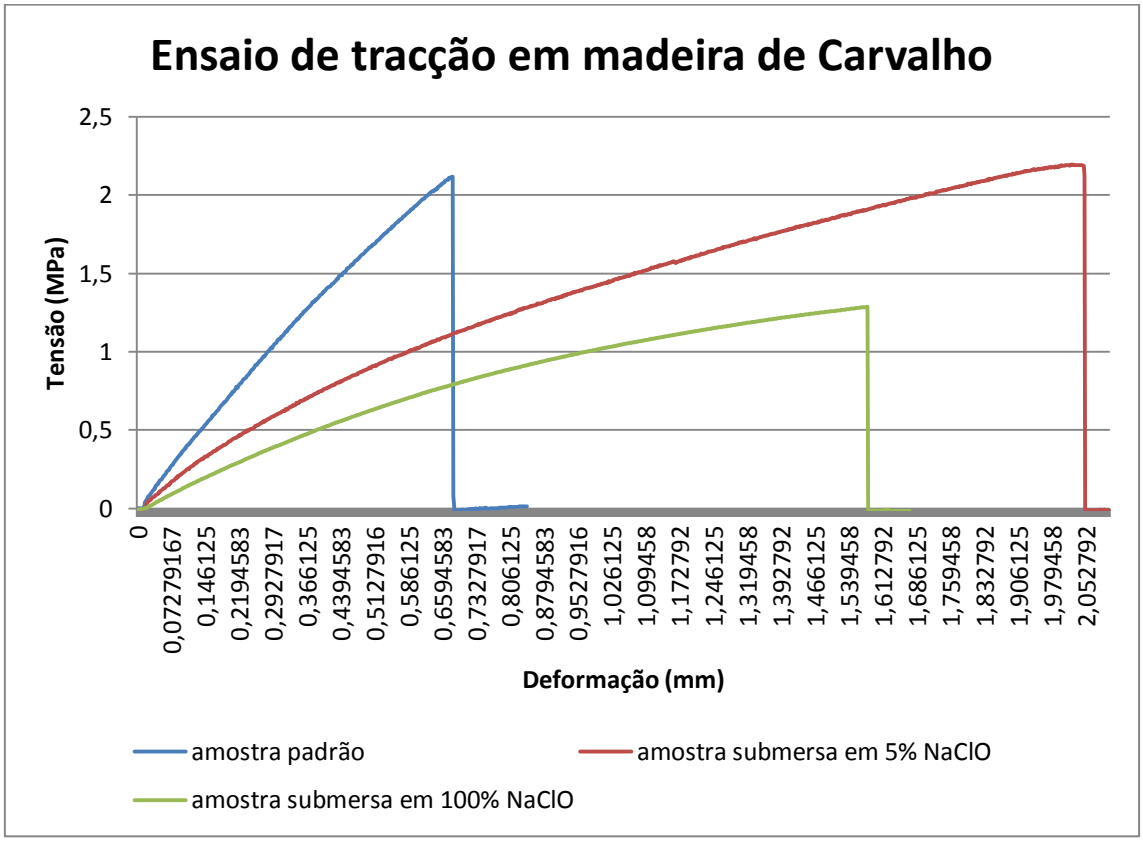


Gráfico 18 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de madeira de Carvalho referente à amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 18, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, no qual é possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO foram afectadas pela corrosão, verificando-se de imediato um alongamento significativamente maior da amostra submersa em solução de 5% NaClO, quando comparado à amostra padrão. Visualmente, na madeira de Carvalho, as amostras submersas em 5% e 100% de NaClO apresentaram degradação, comprovando os resultados realizados através de outras análises efectuadas neste estudo, as quais indicaram que material sofreu ataque por parte da solução de NaClO. Contudo, podemos verificar que as três amostras mostram comportamentos semelhantes, mas com resultados diferentes, apresentando-se de uma forma geral como um material frágil. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 18 que o material não apresenta estricção.

Tabela 47 - Valores atingido pela madeira de Carvalho na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três semanas em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	339,015	160	2,11	0,68
5% NaClO	351,191	160	2,19	2,02
100% NaClO	205,834	160	1,28	1,58
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm^2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	338,92	160	2,11	0,69
5% NaClO	339,158	160	2,11	2,05
100% NaClO	205,834	160	1,28	1,58

A tabela 47 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma.

Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que a amostra submersa em 5% NaClO apresentara valores de tensão máxima e de rotura próximos dos valores obtidos pela amostra padrão. No entanto, comprova-se a presença de alongamentos maiores quando comparado à amostra padrão. Como seria de esperar, a amostra submersa em 100% NaClO apresentou valores de tensão máxima e de rotura inferiores as restantes amostras, assim como um alongamento compreendido entre a amostra padrão e a amostra submersa em 100% de NaClO, significando maior degradação quando comparado à amostra submersa em 5% NaClO.

Importa referir, que estas amostras não tiveram um comportamento esperado, visto que as amostras submersas em solução de NaClO deveriam apresentar resultados de forças mais baixos quando comparado com a amostra padrão, apresentando maior degradação como foi verificado noutras avaliações, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção. Contudo, outras análises já referidas anteriormente comprovaram os resultados obtidos nesta análise por ensaio de tracção.

3.8.3.4. Fenómenos verificados após três meses de imersão

Após três meses de imersão, assim como nas amostras retiradas apos três emanas de imersão, foi possível observar fenómenos de degradação bastante distintos, mediante o tipo de material e a diluição utilizado. Contudo, os fenómenos verificados visualmente são semelhantes aos fenómenos verificados nas amostras retiradas após três semanas de imersão. As amostras de materiais poliméricos continuaram a não provocar qualquer alteração na coloração da solução, verificando-se o contrário nas amostras de materiais metálicos e de madeira. A alteração da coloração na solução deve-se a degradação do material, sendo alterada com maior ou menor intensidade mediante a degradação dos mesmos. Nos materiais metálicos, podemos verificar que a solução apresenta uma coloração mais escura quando comparada á inicial. Essa variação é mais visível no aço inoxidável 321 e 316L, sendo praticamente desprezável no material Duplex 14462. Como já foi referido, a alteração da coloração deve-se a degradação do material, sendo importante referir que foi possível observar uma quantidade de produto de corrosão significativa nos aços inoxidáveis 321 e 316L, e praticamente nula no Duplex 14462. Verificou-se igualmente a alteração da coloração nas soluções contendo madeira. Já tinha sido possível observar alguma alteração após dois dias de imersão, contudo, a coloração das soluções deste tipo de material ampliou para tons mais escuros. Uma diferença notória nas amostras retiradas após três meses de imersão, é o aparecimento de sais formados pelo hipoclorito de sódio no bordo do recipiente contendo uma amostra de aço inoxidável 316L submersa numa concentração de 100% de NaClO, como se pode observar na figura 153.

Figura 153 - formação de sais no recipiente contendo a amostra de aço inoxidável 316L em concentração de 100% de NaClO

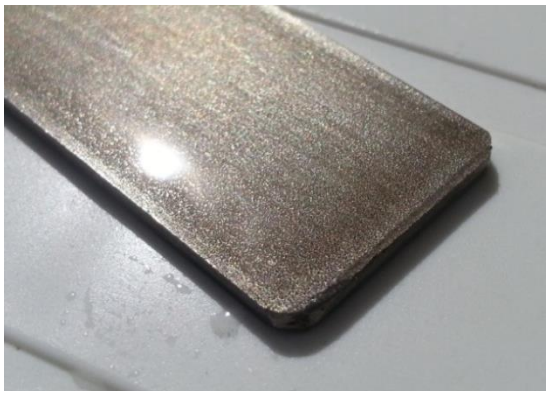
Assim como nas amostras retiradas após três semanas de imersão, foram realizadas verificações visuais, com e sem agitação dos recipientes contendo as soluções, de forma avaliar o produto de corrosão formado pelos materiais. Mais uma vez, não se verificou qualquer diferença, quando comparado com o momento em que foram retiradas as amostras passado três semanas de imersão.

Importa também referir que foram novamente analisadas todas as soluções em estudo antes de serem retiradas as devidas amostras dos recipientes, a fim de verificar a existência de hipoclorito de sódio nas mesmas. Todas as amostras de materiais metálicos e poliméricos continuam a apresentar elevados teor de cloro, independentemente da diluição estabelecida. Na madeira, as analises continuam a apresentar perda total de cloro em todas as soluções, qualquer que seja a diluição, visto já se ter verificado este fenómeno nas amostras retiradas após três semanas. Importa referir que apenas foi introduzido hipoclorito de sódio no início da experiência. Nestas diluições, também não se verificou um valor significativo de evaporação da solução em nenhuma solução, sendo no entanto possível observar uma ligeira variação de nível nos recipientes contendo amostras de madeira, possivelmente devido a absorção da solução por parte dos materiais.

Numa segunda etapa deste estudo, foram retiradas as devidas amostras dos recipientes, a fim de serem avaliadas mais minuciosamente. Inicialmente, as amostras foram retiradas e inspeccionadas visualmente. Os materiais poliméricos e o Duplex 14462 continuam a não apresentar pontos de corrosão visíveis a olho nu, e não se verificou qualquer alteração nas dimensões das amostras. Na figura 154 é possível observar amostras de materiais poliméricos e Duplex 14462 no momento em que foram retirados dos respectivos recipientes.

A

B



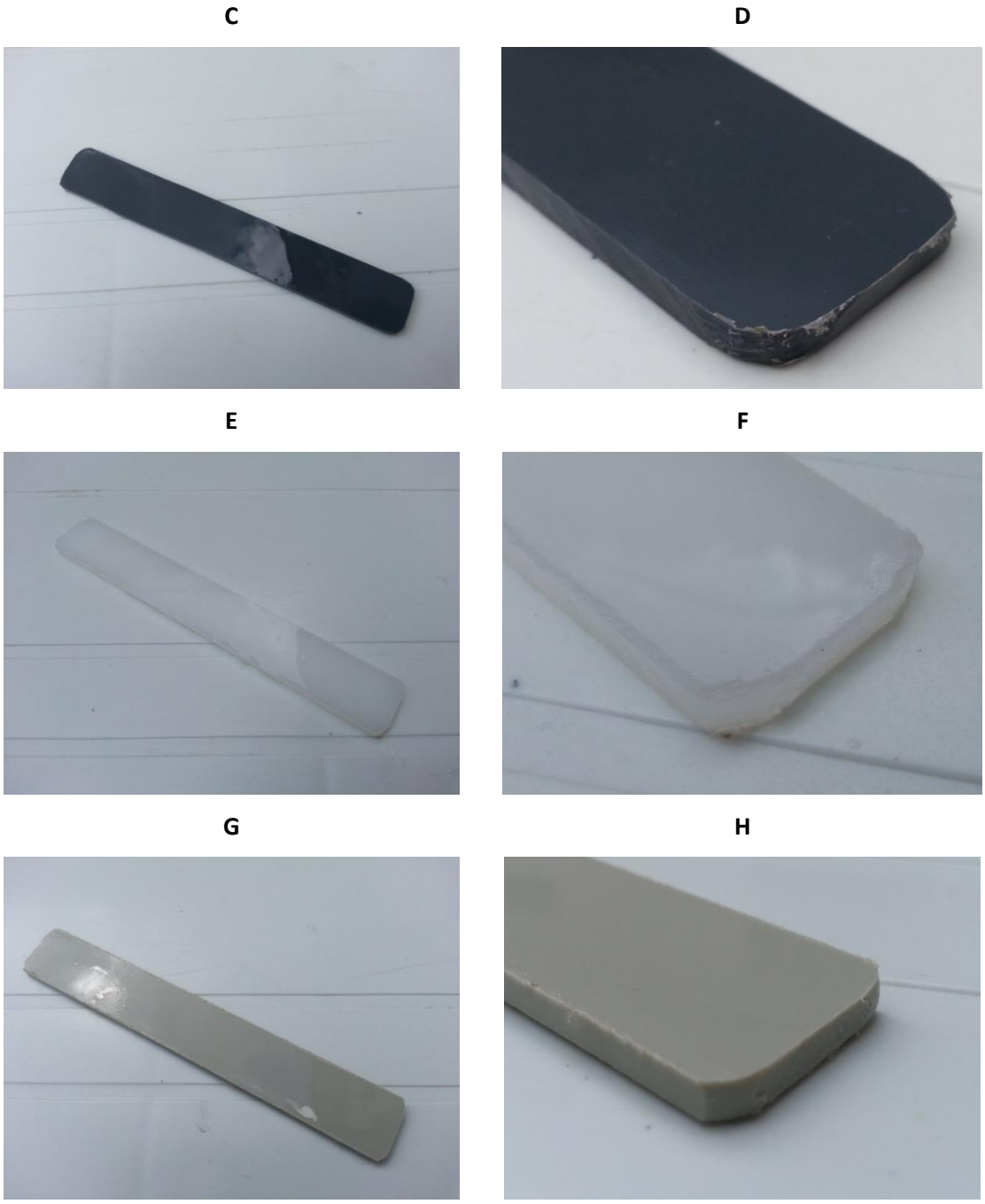


Figura 154 - Amostra molhada e respectivo pormenor de Duplex 14462 (A e B), PVC (C e D), PEAD (E e F) e PP (G e H)

Pelo contrário, nos materiais metálicos em aço inoxidável 316L e 321, foi possível verificar produto de corrosão em vários pontos das amostras, significando maior degradação nesses locais. Nas amostras de maior dimensão, foi possível observar degradação mais acentuada, localizada na pequena área da amostra que se encontra fora da solução, tendo estado em contacto com a solução em momentos de agitação dos recipientes. Contudo, encontravam-se em ambiente atmosférico com elevado teor de cloro. Visualmente, as dimensões das amostras permaneceram inalteradas. Na figura 155 é possível observar amostras de materiais metálicos

em aço inoxidável 316L e 321, no momento em que foram retiradas dos respectivos recipientes.

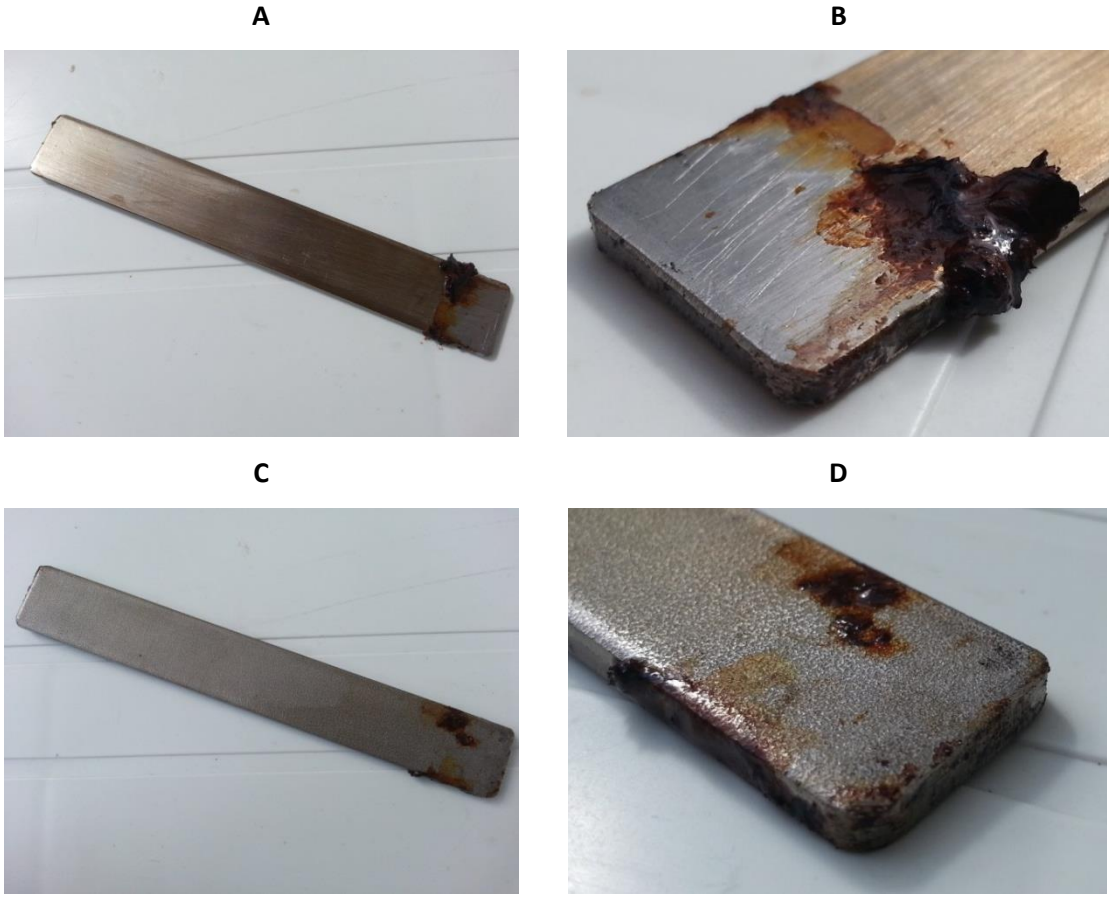


Figura 155 - Amostra molhada e respectivo pormenor de aço inoxidável 316L (A e B) e de aço inoxidável 321 (C e D)

Nas amostras de madeira, verificou-se uma elevada degradação quando comparado com os restantes materiais, e mais acentuada que nas amostras retiradas após três semanas de imersão. A olho nu, foi possível observar uma diminuição significativa das dimensões das amostras, quando comparado com as dimensões iniciais. Assim como nos aços inoxidáveis 316L e 321, nas amostras de madeira de maior dimensão, foi igualmente possível observar degradação nas extremidades que não estiveram submersas na solução, estando contudo em contacto com um meio atmosférico possuindo um elevado teor de cloro. No entanto, nas amostras de medeira observou-se o caso contrário, sendo menos forte o ataque corrosivo nessa extremidade, quando comparado com a área da amostra submersa. Numa avaliação táctil, os dois tipos de madeira apresentaram alguma viscosidade com uma coloração escura. Como já foi referido, esta degradação deve-se ao ataque exercido pela solução de hipoclorito

de sódio, causando degradação por desfibramento da madeira. A degradação apresentada foi uniforme, e as dimensões diminuíram mais significativamente na área coberta pela solução. Na figura 156, é possível observar as amostras de madeira no momento em que foram retirados dos respectivos recipientes.

A

B

C

D

E

F

G H

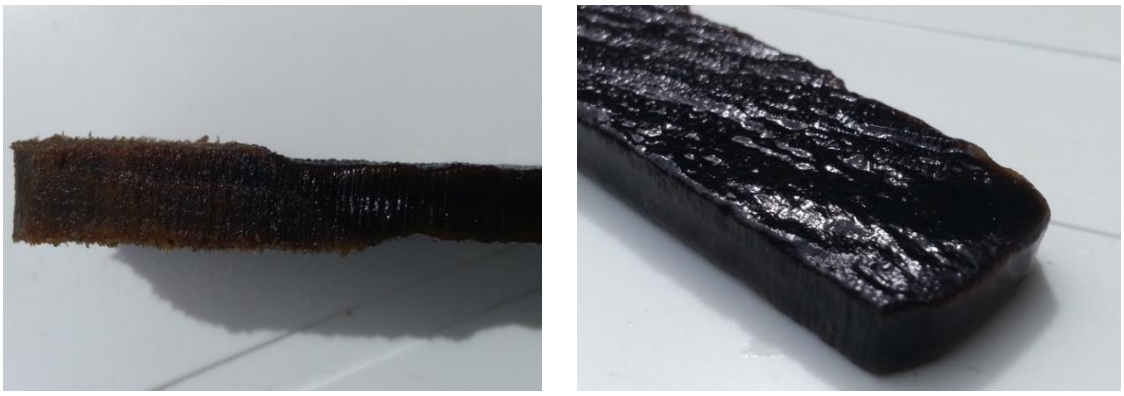


Figura 156 - Amostra molhada e respectivo pormenor de Faia (A, B, C e D) e de Carvalho (E, F, G e H)

Após a primeira avaliação visual, as amostras foram lavadas da mesma forma que as amostras retiradas após três semanas de imersão, evitando desta forma possíveis misturas de produtos de corrosão entre os diversos materiais, visto que esta etapa teve como principal objectivo a remoção de impurezas encontradas nos materiais. As amostras foram de seguida igualmente colocadas durante um período de tempo de dois dias num local a temperatura ambiente (cerca de 25ºC) na E.T.A. em estudo, de forma a secar as amostras sem que haja contacto com outros materiais (lixas ou outros materiais semelhantes), evitando desta forma qualquer remoção do material base. Para finalizar esta fase, procedeu-se a uma nova avaliação visual, onde foi possível observar mais detalhadamente os diversos ataques corrosivos.

Os materiais poliméricos e o Duplex 14462 continuaram a não apresentar quaisquer pontos de corrosão visíveis a olho nu, não se verificando igualmente qualquer alteração nas dimensões das amostras. No entanto, após três meses de imersão, foi possível verificar o mesmo fenómeno ocorrido nas amostras retiradas após três semanas de imersão, visto que também apareceram sais de coloração branca na superfície das amostras poliméricas, sendo originado pelo contacto dos materiais com a solução de hipoclorito de sódio. Estes sais parecem colados as amostras, visto que mostraram alguma resistência quando se efectuou uma tentativa de remoção, numa pequena zona da mesma. Na figura 157, é possível observar amostras de materiais poliméricos e Duplex 14462 após a secagem das mesmas.

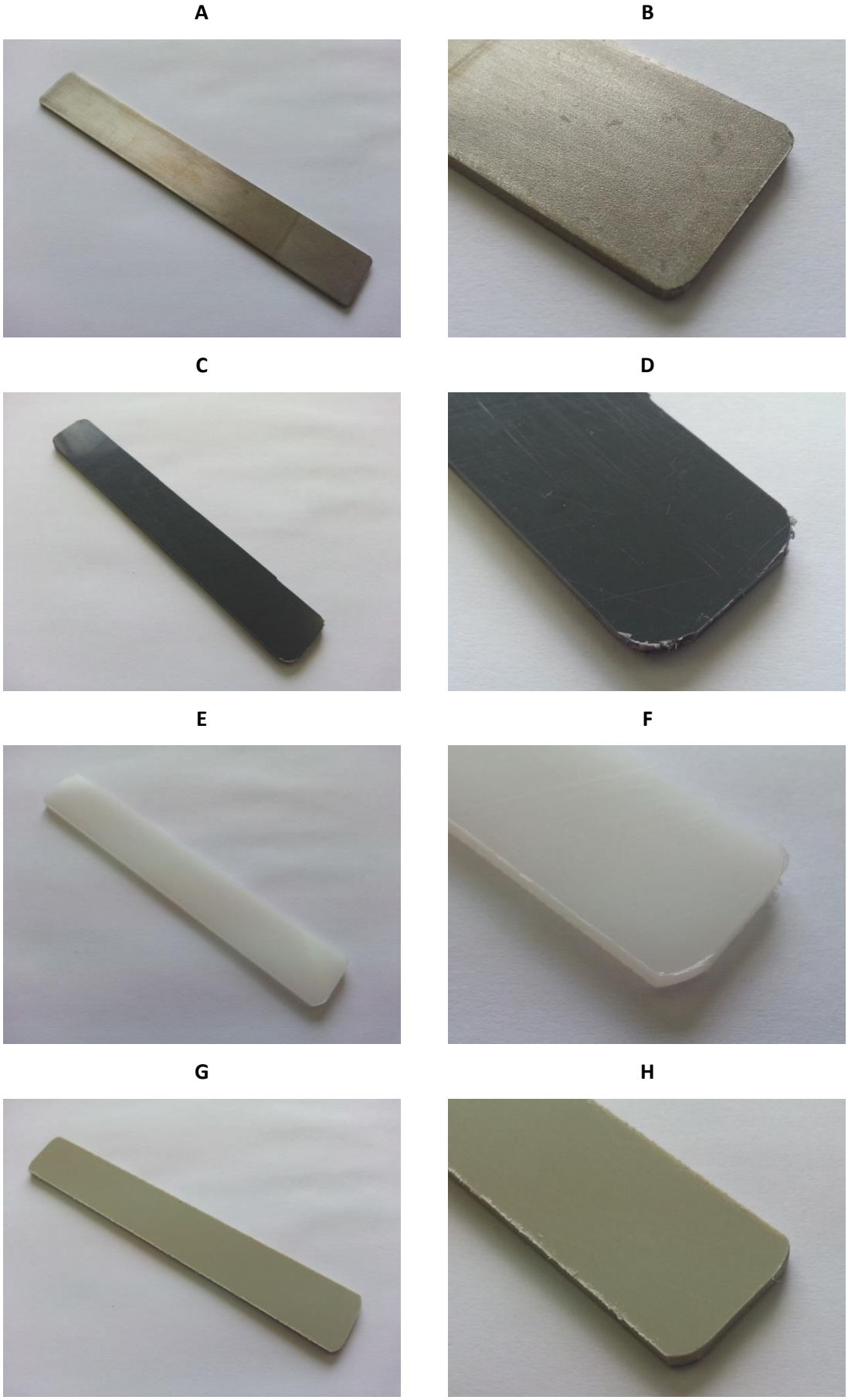


Figura 157 - Amostra seca e respectivo pormenor de duplex 14462 (A e B), PVC (C e D), PEAD (E e F) e de PP (G e H)

Pelo contrário, nos materiais metálicos em aço inoxidável 316L e 321, foi possível verificar um estado avançado de corrosão, confirmando os resultados de uma primeira análise visual efectuada antes da etapa de limpeza das amostras. Nestes dois materiais, podemos verificar ataques localizados sob forma de picadas, de diversas áreas e profundidade, consoante os locais. Importa referir que esta forma de ataque é típica nos aços inoxidáveis em contacto com cloro e derivados do mesmo, conforme foi referenciado no estudo teórico. Visualmente, as dimensões das amostras permaneceram inalteradas. Na figura 158, é possível observar amostras de materiais metálicos em aço inoxidável 316L e 321, após a secagem das mesmas.

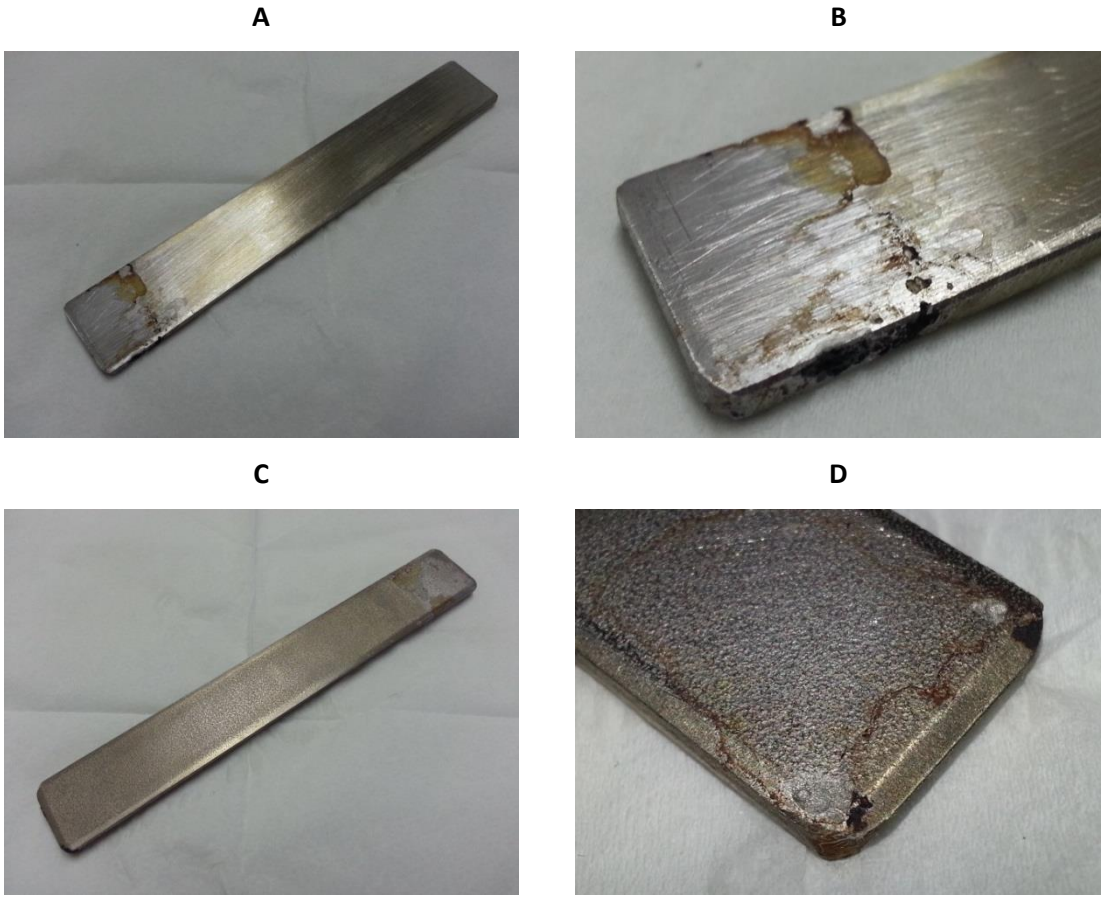


Figura 158 - Amostra seca e respectivo pormenor de aço inoxidável 316L (A e B) e de aço inoxidável 321 (C e D)

Nas amostras de madeira, confirmou-se uma elevada degradação quando comparado com os restantes materiais. A olho nu, foi possível observar uma diminuição significativa das dimensões das amostras quando comparado com as dimensões iniciais. Assim como nos polímeros, foi igualmente possível verificar o aparecimento de sais de coloração branca na

superfície das amostras, sendo originado pela absorção da solução de hipoclorito de sódio, por parte dos materiais. Assim como nas amostras poliméricas, estes sais parecem colados as amostras, visto que mostraram alguma resistência quando efectuou uma tentativa de remoção numa pequena zona da mesma. Importa referir que a quantidade de sais aparecidos nas amostras retiradas após três meses de imersão foi muito mais significativa, quando comparado com as amostras retiradas após três semanas de imersão. Na figura 159, é possível observar as amostras de madeira, após a secagem das mesmas.

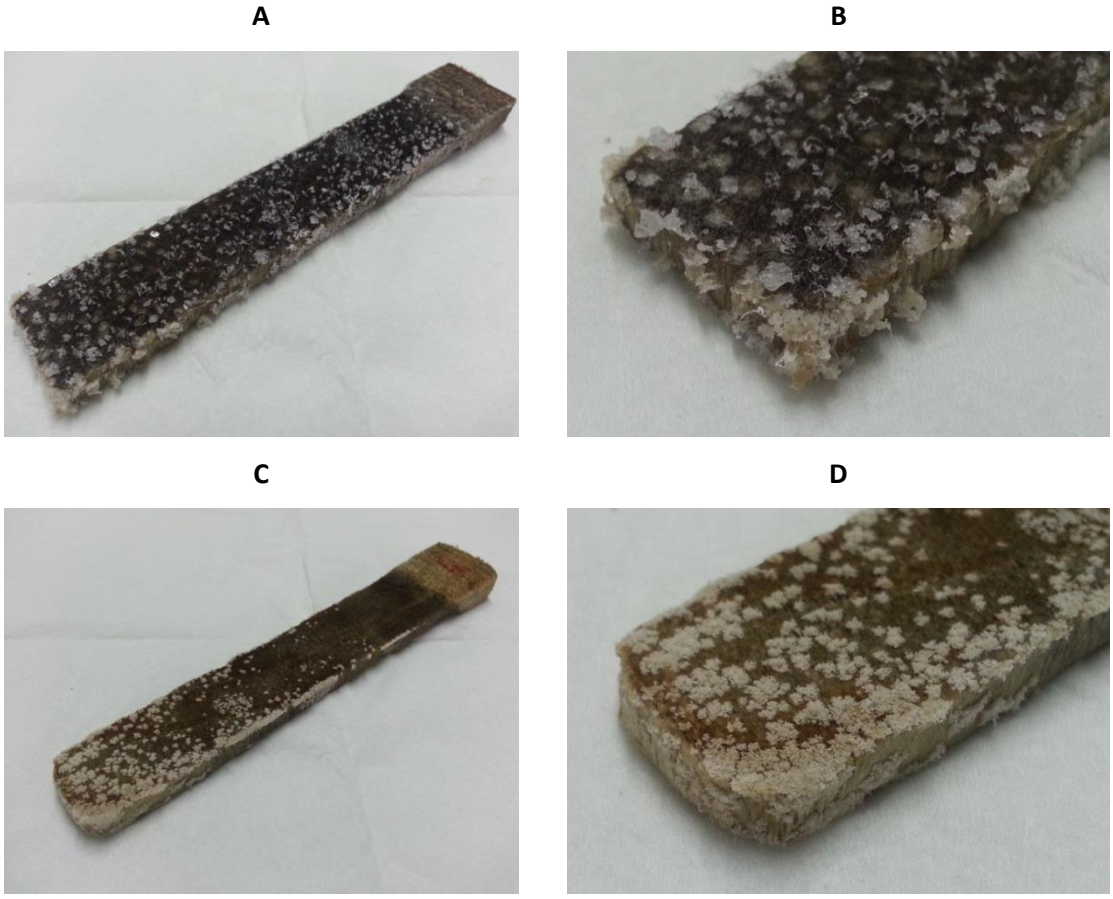


Figura 159 - Amostra seca e respectivo pormenor de Faia (A e B) e de Carvalho (C e D)

Numa avaliação táctil, os dois tipos de madeira mantiveram um nível de viscosidade notável, com uma coloração escura, no entanto, inferior à que apresentava antes da secagem, como seria de esperar. Após a secagem, verificou-se igualmente um aspecto mais frágil da amostra após a secagem. Como já foi referido, esta degradação deve-se ao um ataque sofrido pela madeira, causando o desfibramento do material. A degradação apresentada foi uniforme, e as dimensões diminuíram mais significativamente na área coberta pela solução. Importa igualmente referir que as amostras de madeira submersas em concentrações mais elevadas de

hipoclorito de sódio tiveram mais dificuldade em secar, podendo-se observar esse fenómeno na figura 160, apresentando uma coloração mais escura e uma maior concentração de sais na superfície das amostras submersas em concentrações de 100% de NaClO.

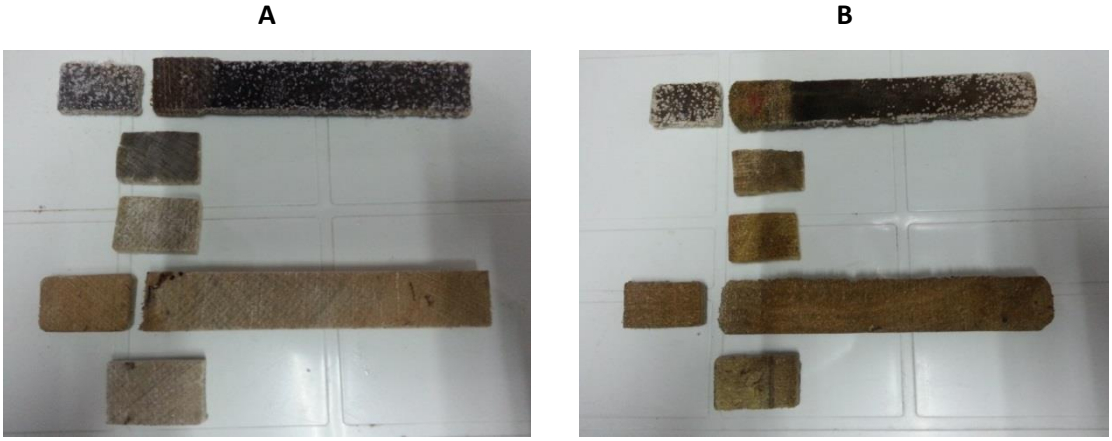


Figura 160 - Conjunto das amostras de Faia (A) e de Carvalho (B)

3.8.3.5. Resultados obtidos após três meses de imersão

Tactilmente, assim como nas amostras retiradas após três semanas de imersão, praticamente todas as amostras apresentavam-se secas. No entanto, as amostras de madeira submersas em maior concentração de NaClO apresentavam alguma percentagem de humidade, visto ser um material altamente higroscópico. Contudo, tendo em conta que o objectivo é simular uma situação real, e que todos os componentes de madeira em estudo estão muitas vezes em contacto com líquidos e em ambiente húmido, considerou-se aceitável o estado das amostras para proceder a uma nova pesagem, e determinar a variação de peso.

3.8.3.5.1. Resultados obtidos por variação de massa

Após a pesagem, todos os valores foram registados na tabela já referida anteriormente, a fim de se proceder a uma avaliação por comparação de peso. Desta forma, foi possível verificar que foram distintos os fenómenos de degradação ocorridos nos materiais, obtendo-se resultados muito semelhantes aos resultados obtidos nas amostras retiradas após três semanas de imersão. Nas tabelas 48 e 49, estão representadas as variações de peso obtidas em cada amostra, expressas em grama.

Tabela 48 - Perda de peso das amostras de dimensão 30mm X 20mm

Perda de peso dos materiais (g)								
Diluição	Materiais metálicos			Materiais poliméricos			Madeira	
	316L	321	Duplex	PVC	PEAD	PP	Faia	Carvalho
2%	-0,0021	-0,0391	-0,0033	0,0031	0,0006	0,0009	-0,0032	0,1103
5%	-0,0017	-0,0419	-0,0018	0,0023	0,0001	0,0006	0,1718	0,3160
25%	-0,0023	-0,0553	-0,0010	0,0021	-0,0013	0,0001	0,4570	0,7568
50%	-0,0118	-0,0625	-0,0024	0,0017	0,0005	-0,001	0,2454	0,3923
100%	-0,0261	-0,0672	-0,0006	-0,0004	0,0004	-0,0023	-0,0636	1,0321

Tabela 49 - Perda de peso das amostras de dimensão 140mm X 20mm

Perda de peso dos materiais (g)								
Diluição	Materiais metálicos			Materiais poliméricos			Madeira	
	316L	321	Duplex	PVC	PEAD	PP	Faia	Carvalho
5%	-0,0391	-0,1048	-0,0172	0,0150	0,0016	0,0030	1,5086	2,7640
100%	-0,0828	-0,1580	-0,0220	0,0048	0,0007	-0,0026	0,7785	5,9504

3.8.3.5.1.1. Comparação da variação de peso dos materiais metálicos

O gráfico 19 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de menor dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem relaciona a perda de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente quais as amostras que tiveram maior variação de peso.

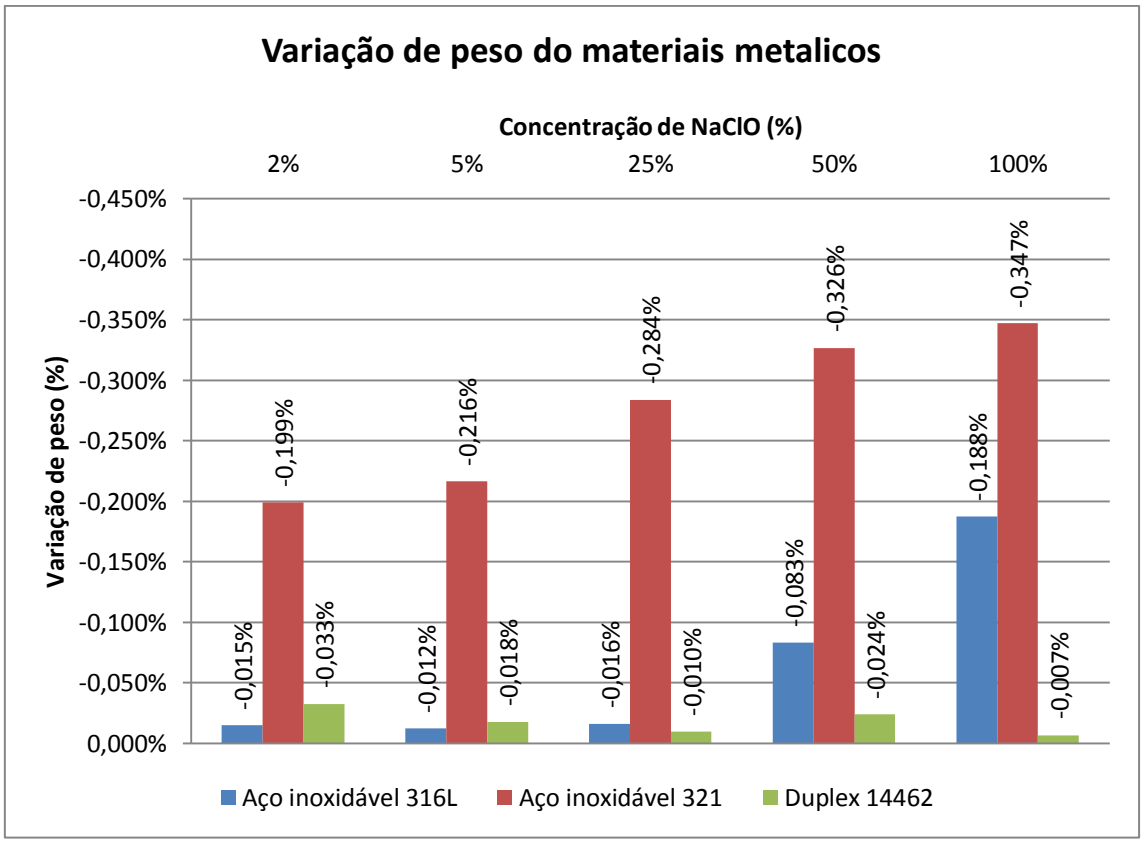


Gráfico 19 - Variação de peso das amostras de materiais metálicos de dimensão 30mm X 20mm

Analisando as amostras de aço inoxidável 316L, podemos verificar que o material sofreu perda de peso em todas as amostras, mantendo-se com valores próximos até a diluição de 25%, agravando-se bruscamente nas diluições de 50% e 100% de hipoclorito de sódio. A perda de peso é causada pela perda de material devido ao ataque corrosivo, aumentando de uma forma geral consoante o aumento da concentração de hipoclorito de sódio.

Analisando as amostras de aço inoxidável 321, podemos verificar que o material sofreu perda de peso em todas as amostras. A perda de peso é causada pela perda de material devido ao ataque corrosivo, aumentando de uma forma geral consoante o aumento da concentração de hipoclorito de sódio. Ao contrário das amostras retiradas após três semanas de imersão, verifica-se nestas amostras um aumento gradual de perda de peso em todas as diluições.

Analisando as amostras de Duplex 14462, podemos verificar que o material sofreu perda de peso em todas as amostras. A perda de peso é causada pela perda de material devido ao ataque corrosivo, mantendo-se de uma forma geral com valores próximos, independentemente da concentração de hipoclorito de sódio utilizada. No entanto, verifica-se um aumento brusco de perda de peso na diluição contendo 50% de hipoclorito de sódio, diminuindo na diluição de 100%. Este fenómeno pode ser justificado por a amostra se ter

encontrado numa zona favorável para promover o ataque, visto que certas zonas das amostras se encontravam em contacto com os recipientes, diminuindo a concentração de oxigénio. Assim como nas amostras de Duplex retiradas após três semanas de imersão, pode-se considerar que este material não apresentou elevados índices de degradação através deste tipo de avaliação.

Analisando o gráfico de uma forma geral, podemos concluir que todas as amostras metálicas sofreram perda de peso. No entanto, as amostras de aço inoxidável 321 perderam significativamente mais peso que as amostras de aço inoxidável 316L e de Duplex 14462 em todas as soluções. De uma forma geral, observamos uma perda brusca de peso da amostra aço inoxidável 321, quando comparado com as amostras de aço inoxidável 316L e de aço inoxidável 321, que mantiveram alguma coerência. Nas soluções contendo 2% de hipoclorito de sódio, observamos que a amostra de aço inoxidável 316L mantem valores com pouca variação de peso, quando comparado com os restantes materiais, sendo mesmo mais baixa que o Duplex 14462. Podemos concluir que em soluções contendo um teor de cloro baixo, os resultados obtidos são sensivelmente semelhantes nas amostras de aço inoxidável 316L e de Duplex 14462, apresentando baixa variação de peso, ao contrário do aço inoxidável 321, que após três meses de imersão, apresenta uma elevada variação de peso, mesmo em pequenas concentrações de hipoclorito de sódio. Pelo contrário, em diluições contendo um teor de cloro elevado, podemos observar que a amostra Duplex 14462 reage significativamente melhor ao ataque corrosivo provocado pela solução, visto ter uma menor perda de peso quando comparado com as restantes amostras, identificando a amostra aço inoxidável 321 como a que pior reage á solução, visto que apresenta uma perda de peso maior quando comparado com as restantes amostras. Podemos concluir também, que a perda de peso torna-se maior a medida que a concentração de hipoclorito de sódio aumenta.

O gráfico 20 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de maior dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem relaciona a perda de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente quais as amostras que tiveram maior perda de peso.

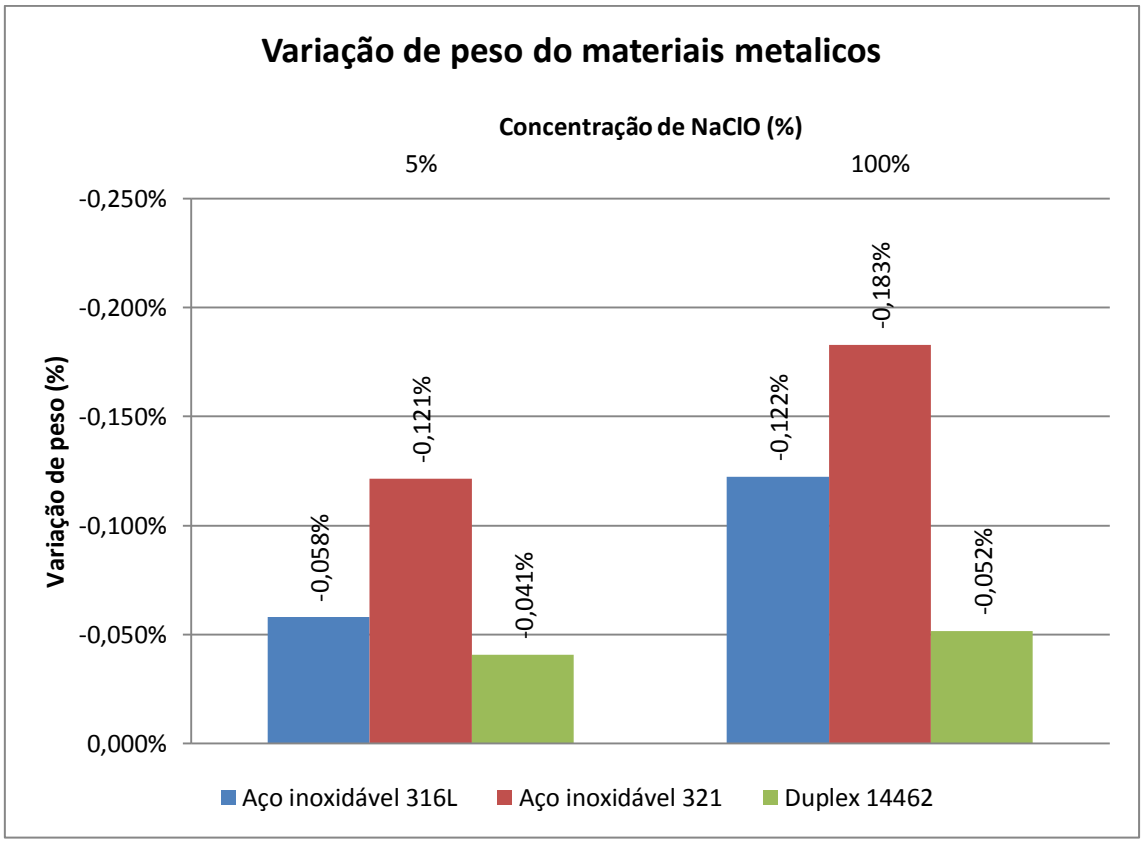


Gráfico 20 - Variação de peso das amostras de materiais metálicos de dimensão 140mm X 20mm

Analisando as amostras de aço inoxidável 316L, aço inoxidável 321 e Duplex 14462, podemos verificar que, assim como nas amostras de menor dimensão, houve maior perda de peso na amostra que se encontra em contacto com a concentração de hipoclorito de sódio mais elevada, significando que o ataque corrosivo foi mais forte, originando maior perda de material.

Analisando o gráfico de uma forma geral, e apesar destas amostras possuírem dimensões e pesos significativamente superiores às amostras referidas no gráfico anterior, podemos concluir que todas as amostras metálicas sofreram perda de peso, visto que os materiais são idênticos. No entanto, podemos observar que a amostra Duplex 14462 teve uma menor variação de perda de peso, independentemente de estar em contacto com uma baixa ou elevada concentração de hipoclorito de sódio, quando comparado com as restantes amostras. Pode-se concluir que o material da amostra Duplex 14462 reagiu melhor ao contacto com as soluções de hipoclorito de sódio, independentemente da concentração utilizada. Contrariamente ao fenómeno verificado nas amostras submersas três semanas de imersão em 5% de hipoclorito de sódio, verifica-se uma menor perda de material na amostra aço

inoxidável 316L, quando comparado com a amostra de aço inoxidável 321. Podemos então concluir que o aço inoxidável 321 sofre maior degradação com o aumento do tempo.

3.8.3.5.1.2. Comparação da variação de peso dos materiais poliméricos

O gráfico 21 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de menor dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem relaciona a perda de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente as amostras que tiveram maior variação de peso.

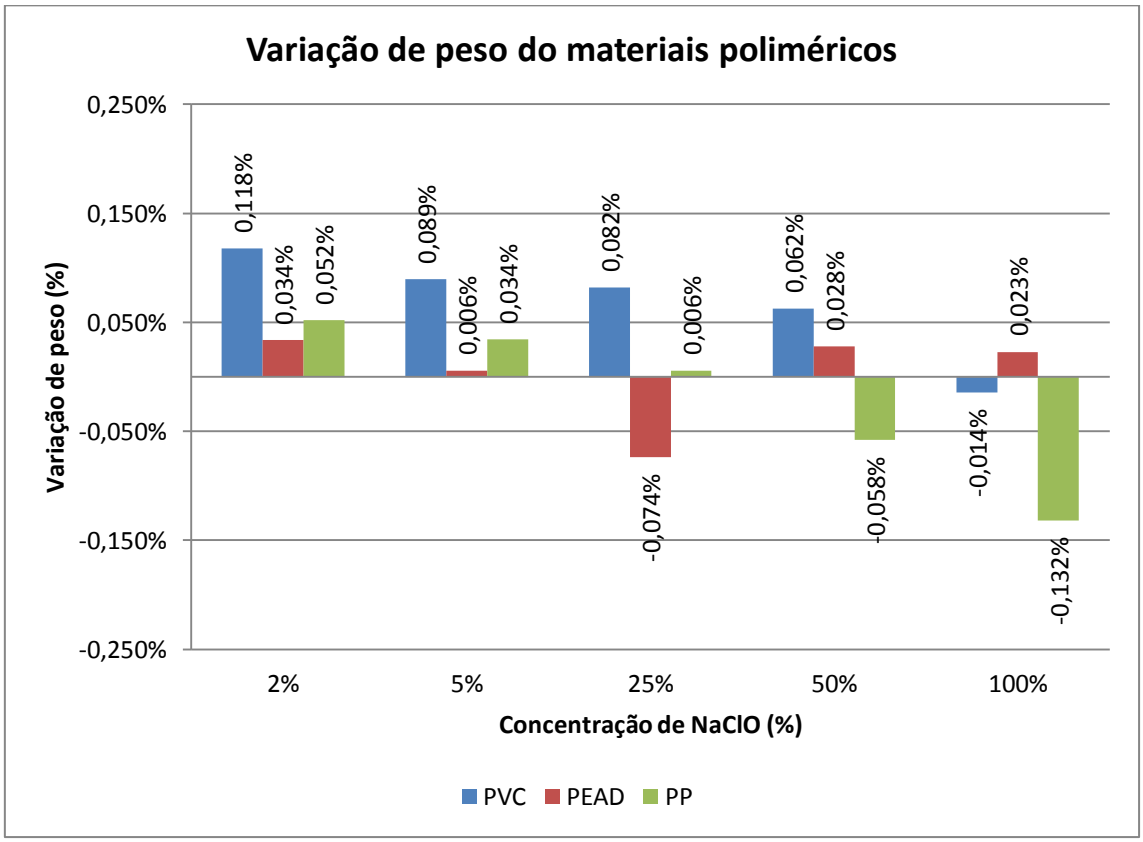


Gráfico 21 - Variação de peso das amostras de materiais poliméricos de dimensão 30mm X 20mm

Analisando as amostras de PVC, podemos verificar que o material sofreu um aumento de peso em praticamente todas as amostras, à excepção da amostra submersa em concentração de 100% de hipoclorito de sódio. O aumento de peso é causado pela absorção de fluido por parte do material, sendo como já foi referido, um fenómeno típico dos materiais poliméricos, podendo causar diversos tipos de degradação. Na amostra submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, podemos verificar que existe perda de peso. Tendo em conta que o

comportamento desta amostra se destaca de todas as outras, quer retiradas após três semanas, quer retiradas após três meses, podemos dizer que este facto deve-se possivelmente a um forte ataque criado pelo hipoclorito de sódio com o decorrer do tempo, resultando numa perda de peso causada pela degradação do material superior ao peso do fluido absorvido pelo material, daí se verificar uma variação final de peso negativa. De uma forma geral, podemos observar que os valores de variação de peso é constantes e decrescente nas diluições de 2%, 5%, 25%, 50%, diminuindo bruscamente na concentração de 100% de hipoclorito de sódio.

Analisando as amostras de PEAD, podemos verificar que o material teve diversos comportamentos de peso consoante a diluição em que se encontra submersa. Praticamente todas as amostras sofreram aumento de peso, à excepção da amostra submersa numa concentração de 50% de hipoclorito de sódio. O aumento de peso é causado pela absorção de fluido por parte do material, podendo causar diversos tipos de degradação. De uma forma geral, podemos observar que a variação de peso diminui permanentemente até a diluição de 25% de hipoclorito de sódio, aumentando na diluição de 50%, mantendo um valor de variação próximo da amostra submersa em concentração de 100% de hipoclorito de sódio. A maior variação de peso verifica-se na concentração de 50% de hipoclorito de sódio, apresentando um valor incomparável a qualquer outra diluição em estudo deste material. Assim como no caso do PVC, tendo em conta que o comportamento desta amostra se destaca de todas as outras, quer retiradas após três semanas, quer retiradas após três meses, podemos concluir que esta perda de peso deve-se possivelmente a um forte ataque criado pelo hipoclorito de sódio com o decorrer do tempo, resultando numa perda de peso causada pela degradação do material superior ao peso do fluido absorvido pelo material, daí se verificar uma variação final de peso negativa. Podemos verificar que a amostra submersa na concentração de 5% de hipoclorito de sódio obteve uma variação de peso praticamente nula, significando que a relação degradação/absorção de fluido foi praticamente idêntica.

Analisando as amostras de PP, podemos verificar que o material sofreu um aumento de peso nas concentrações de hipoclorito de sódio mais baixas, diminuindo constantemente em todas as amostras até sofrer perda de peso nas amostras submersas em concentrações de 50% e 100% de hipoclorito de sódio. Assim como no PVC e PEAD, o aumento de peso é causado pela absorção de fluido por parte do material, sendo como já foi referido, um fenómeno típico dos materiais poliméricos, podendo causar diversos tipos de degradação. Assim como nos dois materiais anteriormente referidos, podemos concluir que a perda de peso nas amostras submersas em concentrações de 50% e 100% de hipoclorito de sódio deve-se possivelmente a um forte ataque criado pelo hipoclorito de sódio com o decorrer do tempo, resultando numa perda de peso causada pela degradação do material superior ao peso do fluido absorvido pelo

material, daí se verificar uma variação final de peso negativa. Podemos verificar que a amostra submersa na concentração de 25% de hipoclorito de sódio obteve uma variação de peso praticamente nula, significando que a relação degradação/absorção de fluido foi praticamente idêntica.

O gráfico 22 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de maior dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem relaciona a perda de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente quais as amostras que tiveram maior perda de peso.

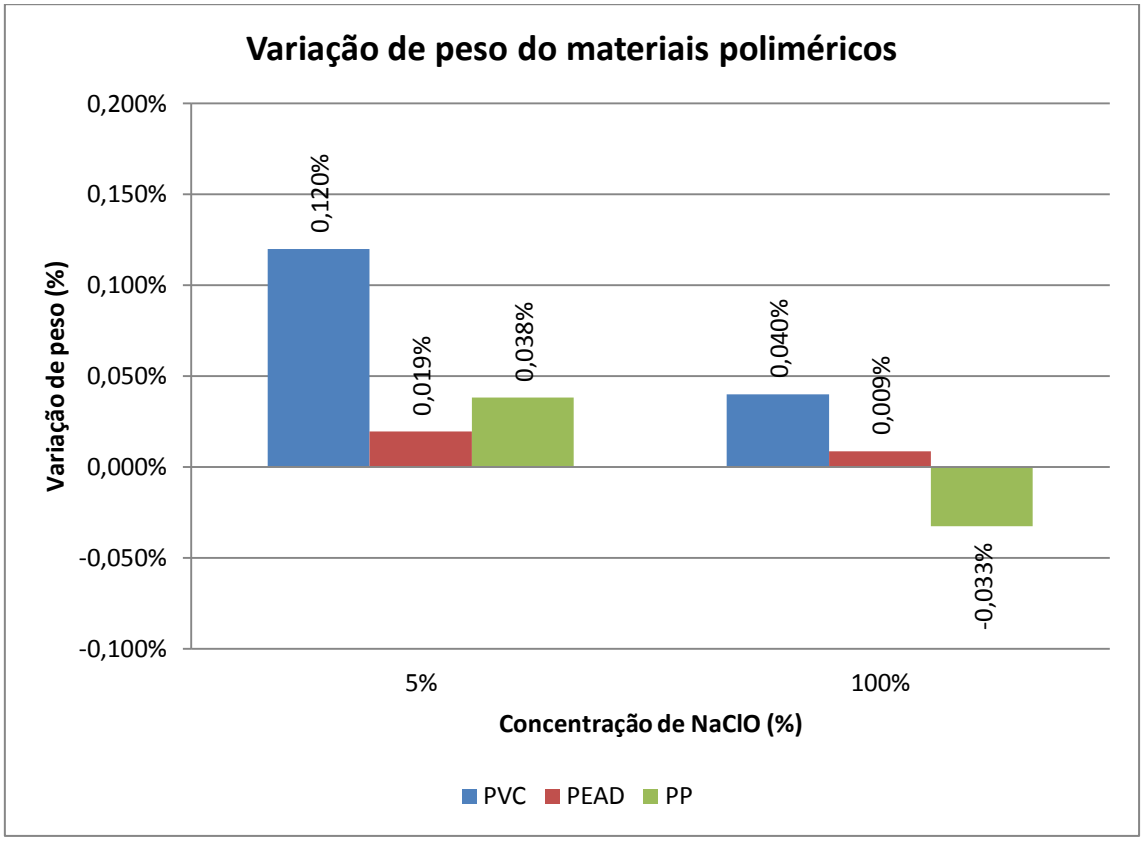


Gráfico 22 - Variação de peso das amostras de materiais poliméricos de dimensão 140mm X 20mm

Analisando as amostras de PVC, PEAD e PP, pode-se verificar que, contrariamente às amostras retiradas após três semanas de imersão, nem todas as amostras poliméricas sofreram aumento de peso, significando maior degradação ao longo do tempo. Assim como nas amostras de menor dimensão, pode-se verificar que houve um menor aumento de peso nas amostras que se encontram em contacto com a concentração de hipoclorito de sódio mais

baixa, diminuindo a variação de peso nas amostras em contacto com a concentração de 100% de hipoclorito de sódio, verificando-se mesmo perda de peso na amostra de PP. Como para as restantes amostras, o aumento de peso significa que a absorção de fluido por parte do material foi maior, ao contrário de um menor aumento de peso em concentrações mais altas, que significa possivelmente uma maior degradação do material.

De uma forma geral e apesar destas amostras possuírem dimensões e pesos significativamente superiores as amostras referidos no gráfico anterior, os materiais são idênticos. No entanto, à semelhança das amostras de menor dimensão e tendo em conta que os materiais poliméricos sofreram perda de peso ou um menor aumento de peso após três meses de imersão em algumas amostras, sendo que este facto se deve a uma maior degradação por parte dos materiais, podemos concluir que o PVC reage melhor ao hipoclorito de sódio em todas as concentrações, visto não se verificar elevadas perdas de peso quando comparado com os restantes materiais. Ao contrário do PVC, pode-se afirmar que o PP é o material que reage pior forma ao hipoclorito de sódio. De uma forma geral, podemos também concluir que, o peso das amostras diminui conforme a concentração de hipoclorito de sódio aumenta.

3.8.3.5.1.3. Comparação da variação de peso da madeira

O gráfico 23 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de menor dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem relaciona a perda de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente quais as amostras que tiveram maior perda de peso.

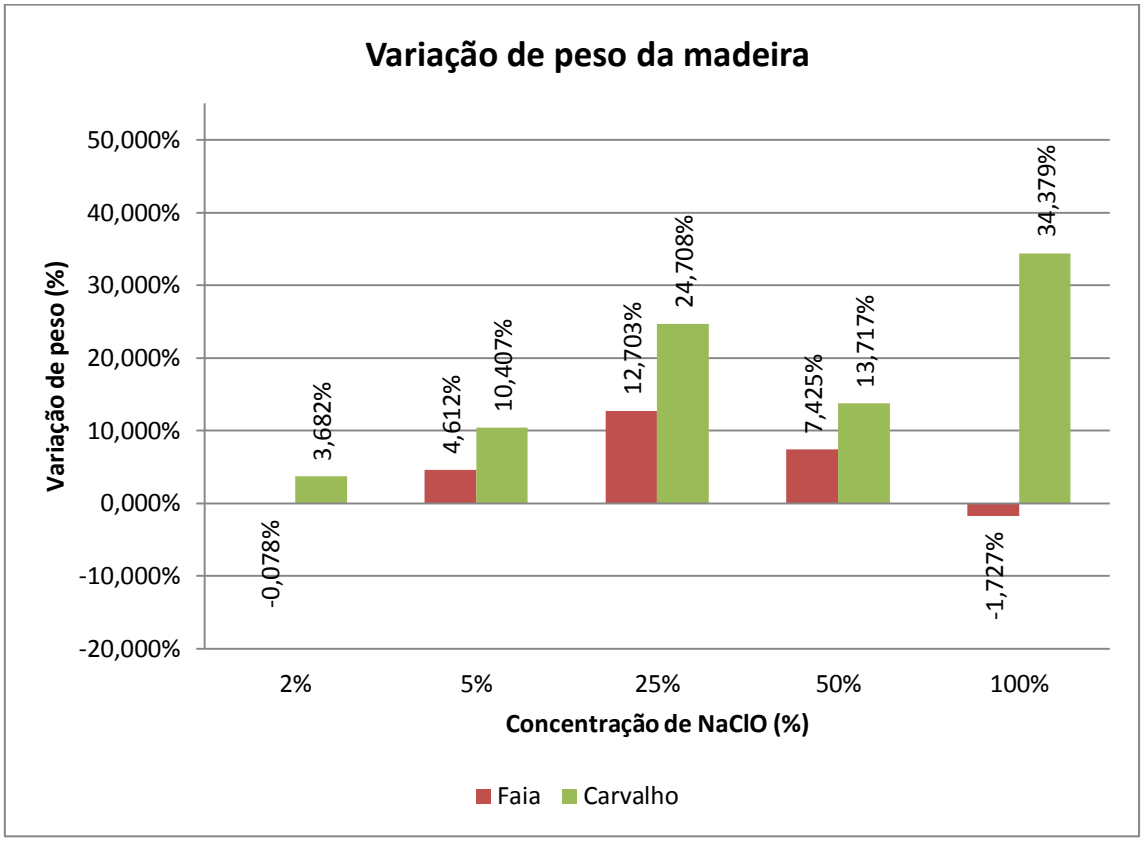


Gráfico 23 - Variação de peso das amostras de madeira de dimensão 30mm X 20mm

No gráfico 23, podemos verificar um aumento constante da variação de peso entre as amostras de Faia contendo diluições de 2%, 5% e 25% de hipoclorito de sódio. No entanto, verifica-se um diminuição brusca na diluição contendo 50% e de 100% de hipoclorito de sódio. Este fenómeno pode ser justificado por as amostras contendo 50% e 100% de hipoclorito de sódio terem sofrido um ataque corrosivo mais intenso, ou seja, houve absorção de fluido, mas como já foi referido anteriormente, houve igualmente uma elevada perda de material, na qual a diferença destes dois factores provocou uma variação de peso menor, quando comparado com as restantes amostras, significando, à semelhança dos materiais poliméricos, que a degradação do material foi superior ao peso do fluido absorvido.

No gráfico 23, podemos igualmente verificar um aumento da variação de peso das amostras de Carvalho, entre as diluições contendo 2%, 5% e 25% de hipoclorito de sódio, diminuindo intensamente nas diluições de 50%. Na concentração de 100% de Hipoclorito de sódio, verifica-se novamente um aumento da variação de peso. Assim como na Madeira de Faia, este fenómeno pode ser justificado por as amostras contendo 50% e 100% de hipoclorito de sódio terem sofrido um ataque corrosivo mais intenso, ou seja, houve absorção de fluido, mas como já foi referido anteriormente, houve igualmente uma elevada perda de material na qual a

diferença destes dois factores provocou uma variação de peso menor quando comparado com as restantes amostras. Nas análises visuais, é possível observar elevada degradação nas amostras submersas em 50% e 100% de hipoclorito de sódio, nas quais se verificou igualmente maior dificuldade na secagem das mesmas. Devido a este facto, podemos concluir que estas duas amostras sofreram maior perda de material, mas que o peso do fluido absorvido pela amostra foi superior as restantes amostras, daí o ganho final de peso nestas duas amostras.

Analisando o gráfico de uma forma geral, podemos concluir que praticamente todas as amostras de madeira sofreram aumento de peso. No entanto, as amostras de Faia sofreram uma variação de peso menor que as amostras Carvalho, quando ambas são comparadas nas mesmas concentrações. No entanto, as amostras de faia perdem peso nas amostras submersas em concentrações de 2% e 100%, indicando maior degradação deste material quando comparado com o Carvalho. Comparando estes dois materiais, podemos verificar que as amostras Faia e Carvalho sofrem um aumento significativo de perda de material entre a concentração de 25% e 50% de hipoclorito de sódio.

O gráfico 24 representa a variação de peso sofrido em cada amostra de maior dimensão, e em cada material. O valor expresso em percentagem relaciona a perda de peso de cada amostra com o peso inicial da mesma, de forma a conseguir-se avaliar correctamente quais as amostras que tiveram maior perda de peso.

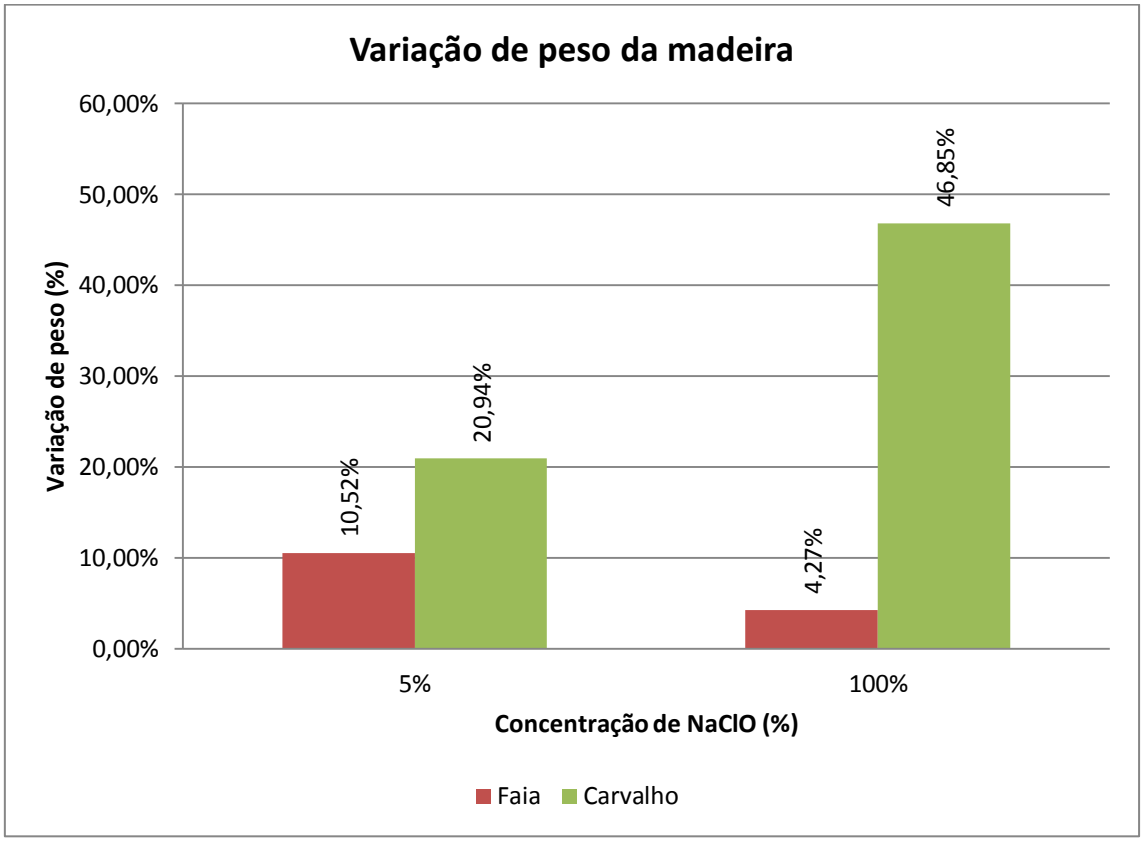


Gráfico 24 - Variação de peso das amostras de madeira de dimensão 140mm X 20mm

Analisando as amostras de Faia e Carvalho, podemos verificar que as duas amostras sofreram aumento de peso. Assim como nas amostras de menor dimensão, pode-se verificar que nas amostras de faia houve uma menor variação de peso na amostra que se encontra em contacto com a concentração de hipoclorito de sódio de 100%, e uma maior variação de peso nas amostras de Carvalho. Assim como nas amostras de menor dimensão, o facto do da variação de peso ter diminuído na amostra de Faia em concentração de 100%, deve-se a elevada perda de material provocada pelo ataque do hipoclorito de sódio, e no Carvalho, o facto da variação de peso ter aumentado na concentração de 100%, deve-se possivelmente ao peso do fluido absorvido pelo material e ainda presente durante a pesagem, devido à elevada dificuldade de secagem do material, por ter absorvido solução com elevados teores de hipoclorito de sódio.

De uma forma geral e apesar destas amostras possuírem dimensões e pesos significativamente superiores as amostras referidos no gráfico anterior, os materiais são idênticos. No entanto, podemos observar que a amostra de Carvalho apresenta uma maior variação de perda de peso. Na concentração de 5% de hipoclorito de sódio, observa-se uma diferença de variação de peso significativa entre os dois materiais, sendo mais elevada na amostra de Carvalho. Na concentração de 100%, a variação de peso dos dois materiais continua mais elevada na

amostra de Carvalho. Assim como nas amostras de menor dimensão dos mesmos materiais, pode-se concluir que o Carvalho foi o material que sofreu uma variação de peso mais elevada.

3.8.3.5.2. Resultados obtidos por análise de microscopia óptica

Para análise dos materiais por microscopia óptica, foram utilizados aumentos de cinquenta vezes (x50), e cem vezes (x100), para os materiais metálicos. Para os materiais poliméricos, foram utilizados aumentos de cem vezes (x100), e duzentas vezes (x200). De forma a ser possível observar a variação de degradação do material, foram analisadas duas amostras de cada tipo de material metálico e polimérico, imersas em soluções contendo 2% e 100% de hipoclorito de sódio, conforme se pode verificar de uma forma mais simples nas tabelas 50 e 51.

Tabela 50 - Concentração de NaClO e aumentos utilizados para análise dos materiais metálicos

Materiais metálicos		
Amostra	2% NaClO	100% NaClO
1	X 50	X 100
2	X 50	X 100

Tabela 51 - Concentração de NaClO e aumentos utilizados para análise dos materiais poliméricos

Materiais poliméricos		
Amostra	2% NaClO	100% NaClO
1	X 100	X 200
2	X 100	X 200

Assim como nas amostras retiradas após três semanas de imersão, nas amostras de madeira, não foi possível realizar qualquer tipo de análise através de microscópia óptica, devido a elevada irregularidade da superfície apresentada.

3.8.3.5.2.1. Aço inoxidável 316L

A figura seguinte representa a amostra de aço inoxidável 316L, sem ter estado em contacto algum com a solução de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar uma zona da amostra idêntica à que foi submetida para o ensaio. Esta figura é de extrema importância, visto que será utilizada como modelo de comparação na avaliação da amostra de aço inoxidável 316L degradada. A amostra de aço inoxidável 316L encontrava-se coberta por uma pelicula protectora, evitando assim qualquer contaminação exterior, ou riscos provocados pelo contacto com outros materiais. Na figura 161, é possível observar os grãos da amostra, sendo igualmente possível verificar a ausência de degradação na amostra.

Figura 161 - Imagem M.O. da amostra de aço inoxidável 316L não submersa em concentração de NaClO com aumento x50

As análises realizadas através de microscopia óptica são referentes às amostras de aço inoxidável 316L, após ensaio de imersão com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100%, apresentadas na figura 162.

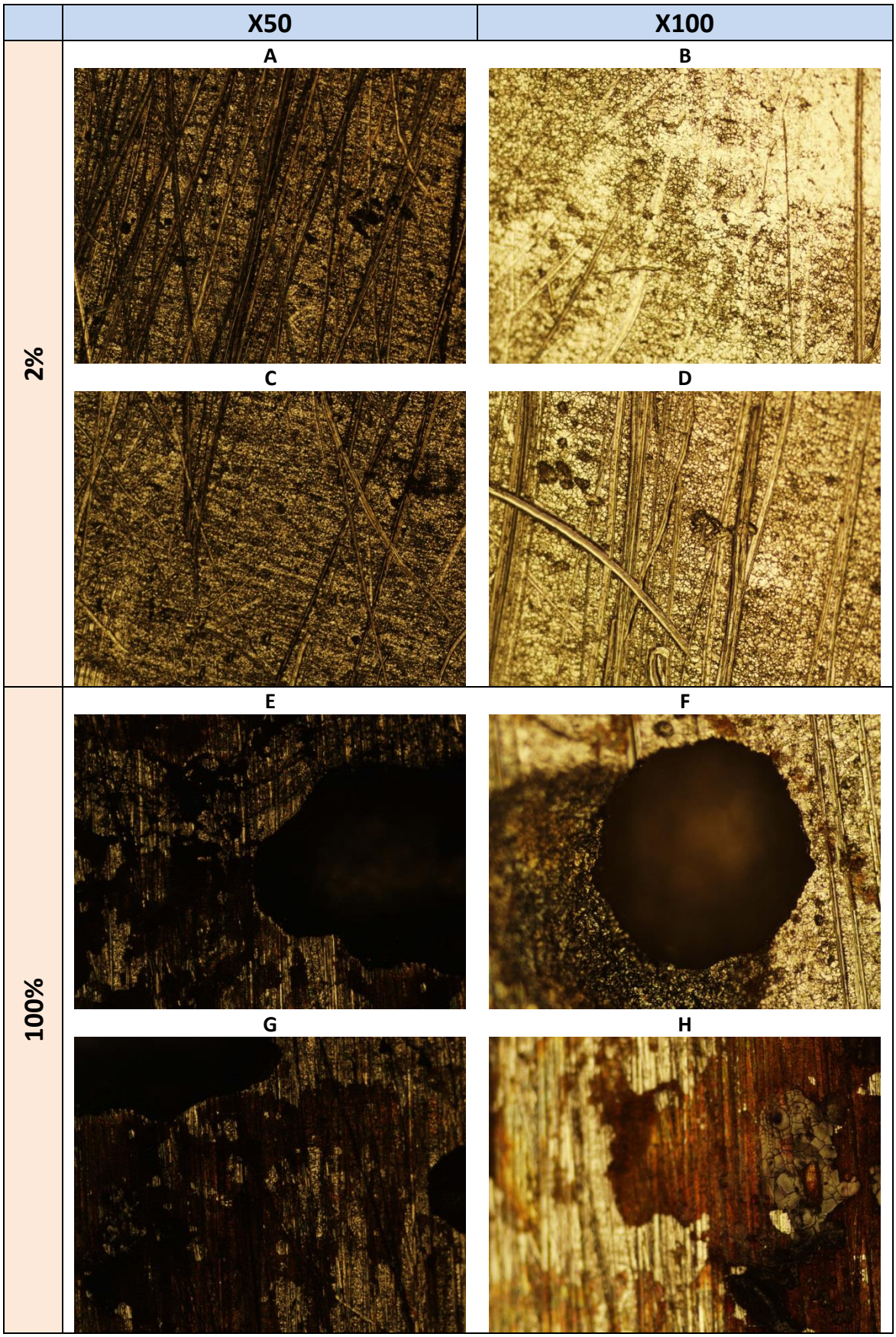


Figura 162 - Imagem de microscopia óptica X50 e X100 das amostras de Aço inoxidável 316L submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 meses de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento X50, na qual podemos observar algumas linhas que poderão ter sido marcadas na etapa de limpeza, ou de processamento da amostra. Contudo, pode-se verificar na imagem alguns pontos negros, que podem corresponder a uma região com corrosão. As imagens B e D, foram conseguidas com um aumento X100, nas quais é possível observar zonas com coloração mais escura, significando zonas com alguma degradação. Podemos também observar mais detalhadamente na figura D, as linhas observadas e referidas na imagem C. De uma forma geral, através deste método de avaliação, podemos concluir que esta amostra continua a não apresentar um nível elevado de corrosão, confirmando a análise visual anteriormente realizada. Este facto pode igualmente ser confirmado, comparando as imagens da amostra submersa em 2% de NaClO da figura 163, com a imagem da amostra padrão.

100% de NaClO

A imagem E e G foram conseguidas com um aumento X50, e as figuras F e H com um aumento X100, nas quais podemos observar algumas linhas semelhantes às referidas nas imagens anteriores, que poderão ter sido igualmente marcadas na etapa de limpeza da amostra. Contudo, nas imagens E, F, G e H, nota-se uma quantidade maior de áreas escuras, assim como dimensões superiores das mesmas, quando comparado á amostra submersa na diluição de 2% de NaClO. Podemos então afirmar que a amostra submersa na concentração de 100% de NaClO apresenta um nível mais elevado de corrosão, quando comparado à amostra submersa na concentração de 2% de NaClO. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise visual foi confirmada pela análise de microscopia óptica, assim como pela variação de massa conforme se pode verificar nos gráficos anteriormente apresentados. Algumas zonas mais claras poderão igualmente corresponder a possíveis impurezas superficiais, dificultando desta forma a interpretação dos resultados obtidos. Na imagem H podemos observar zonas com coloração cinza, indicando a presença de óxidos na amostra. Um facto interessante pode ser verificado na amostra submersa na concentração de 100% de NaClO, na qual podemos verificar que existe corrosão sob a forma de picadas. A área de maior dimensão de coloração negra apresentada nas imagens E e F, mostra uma zona da amostra com um estado avançado de degradação, possivelmente iniciada numa pequena picada, atingindo de seguida elevadas dimensões, quer a nível de área como de profundidade.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 162 com a

imagem da amostra padrão da figura 161. No caso do aço inoxidável 316L, é possível distinguir-se com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração.

Comparando as amostras retiras após três meses de imersão, com as amostras retiradas após três semanas de imersão, podemos concluir que se verifica a mesma forma de corrosão, mas com maior intensidade. Podemos concluir então que a degradação deste material é influenciada pela concentração de hipoclorito de sódio, assim como pela duração do ensaio.

3.8.3.5.2.2. Aço inoxidável 321

Antes de ser submetida ao ensaio de imersão, a amostra de aço inoxidável 321 encontrava-se em ambiente atmosférico, estando assim propicio a qualquer contaminação exterior, ou riscos provocados pelo contacto com outros materiais. Na figura 163, é possível observar zonas de coloração branca, nas quais se verifica ausência de degradação, assim como zonas de coloração escura, correspondendo à topografia da amostra, provavelmente com a presença de alguns óxidos.

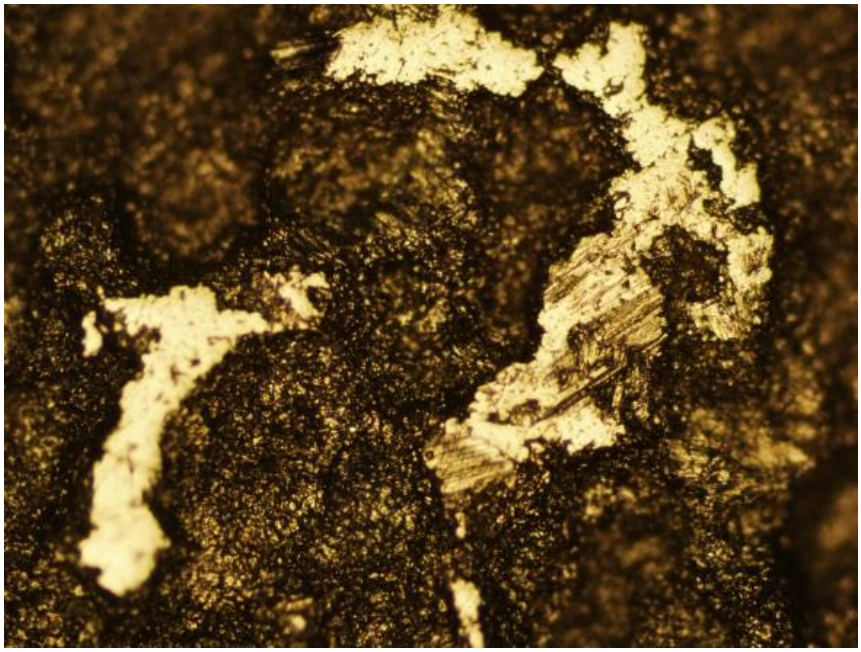


Figura 163 - Imagem M.O. da amostra de aço inoxidável 321 não submersa em concentração de NaClO com aumento x100

As análises realizadas através de microscopia óptica, são referentes às amostras de aço inoxidável 321, após ensaio de imersão com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100%, apresentadas na figura 164.

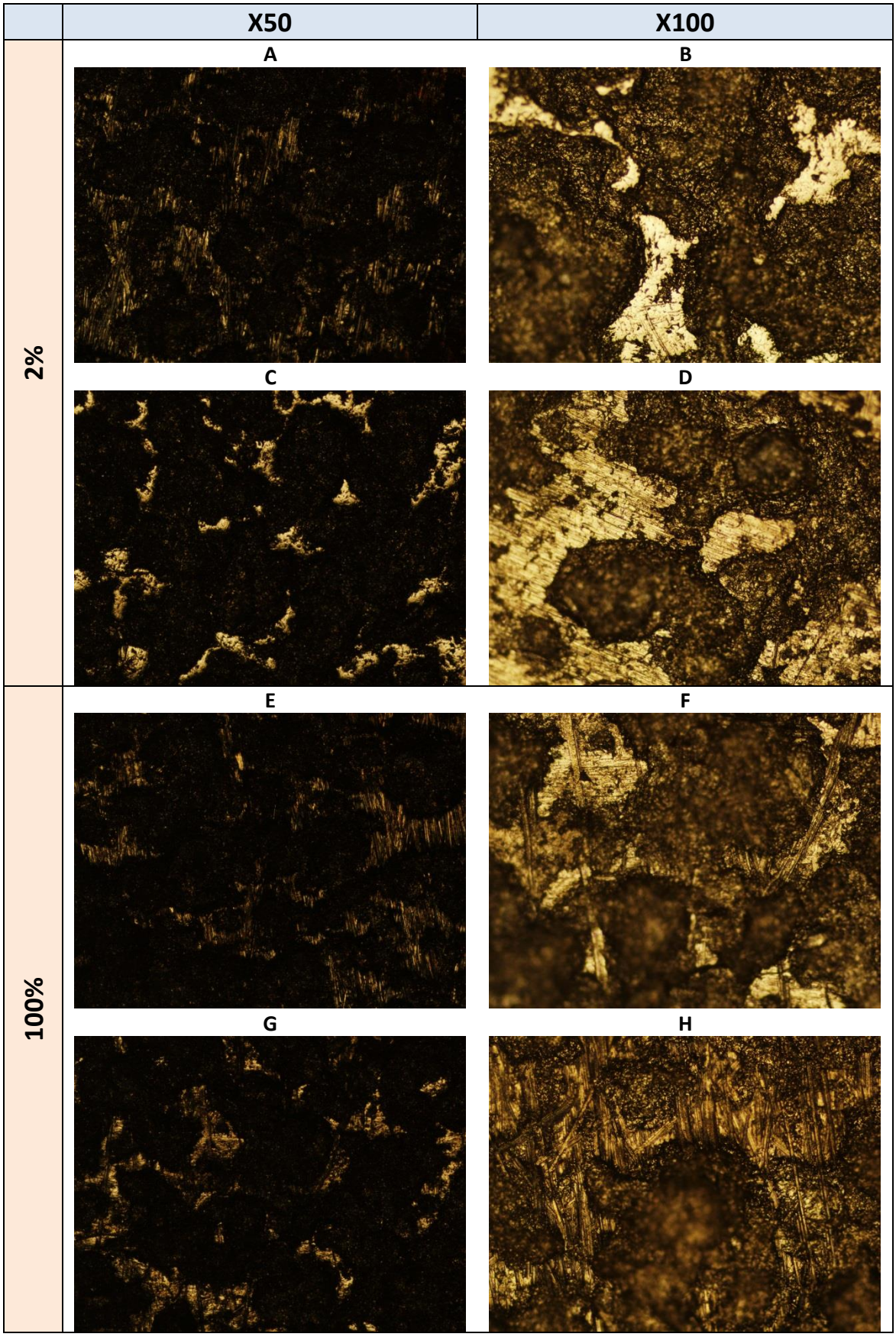


Figura 164 - Imagem de microscopia óptica X50 e X100 das amostras de Aço inoxidável 321 submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 meses de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento X50, nas quais podemos observar áreas escuras de forma irregular, que poderão representar zonas degradadas. Contudo, pode-se verificar algumas zonas claras que podem corresponder a regiões menos degradadas. As imagens B e D foram conseguidas com um aumento X100, nas quais é possível observar manchas escuras com coloração mais intensa, que podem corresponder a áreas de ataque com maior intensidade. Podemos no entanto concluir, que comparando com a amostra padrão, a amostra submersa em NaClO não apresenta um elevado estado de degradação.

100% de NaClO

As imagens E e G foram conseguidas com um aumento X100, e as imagens F e H com um aumento X100, nas quais podemos observar áreas escuras de forma circular, que poderão representar zonas degradadas. Contudo, pode-se verificar algumas zonas claras, que podem corresponder a regiões menos corroídas. O facto das áreas escuras se distinguirem bastante das áreas com tons mais claros, deve-se a severidade do ataque corrosivo, visto ser mais forte quando comparado com a amostra submersa na concentração de 2% de NaClO, causando zonas circulares de maior profundidade. Nas figuras E, F, G e H, nota-se uma quantidade significativamente maior de zonas escuras, algumas delas com tonalidade irregular. Podemos afirmar que a amostra submersa na concentração de 100% de NaClO apresenta um nível mais elevado de corrosão que a amostra submersa numa concentração de 2% de NaClO. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise visual foi confirmada pela análise de microscopia óptica, assim como pela variação de massa conforme se pode verificar nos gráficos anteriormente apresentados.

Um facto interessante pode ser verificado acertadamente na amostra submersa em concentração de 100% de NaClO, na qual podemos verificar que existe uma área de maior dimensão, com coloração mais escura e aspecto desfocado (imagem F e H), significando um ataque corrosivo mais forte por parte da solução sobre o material.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado, comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 164, com a imagem da amostra padrão da figura 163. No caso do aço inoxidável 321, é possível distinguir-se com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração, apesar da amostra padrão apresentar alguma semelhança com as amostras submersas nas soluções.

Comparando as amostras retiras após três meses de imersão com as amostras retiradas após três semanas de imersão, podemos concluir que se verifica a mesma forma de corrosão, mas com maior intensidade. Podemos concluir então que a degradação deste material é influenciada pela concentração de hipoclorito de sódio assim como pela duração do ensaio.

3.8.3.5.2.3. Duplex 14462

Antes de ser submetido ao ensaio de imersão, a amostra de Duplex 14462 encontrava-se em ambiente atmosférico, estando assim propicio a qualquer contaminação exterior ou riscos provocados pelo contacto com outros materiais. Na figura 165, é possível observar zonas de coloração branca, nas quais verifica-se ausência de degradação, assim como zonas de coloração escura, correspondendo à topografia da amostra, provavelmente já com a presença de alguns óxidos.

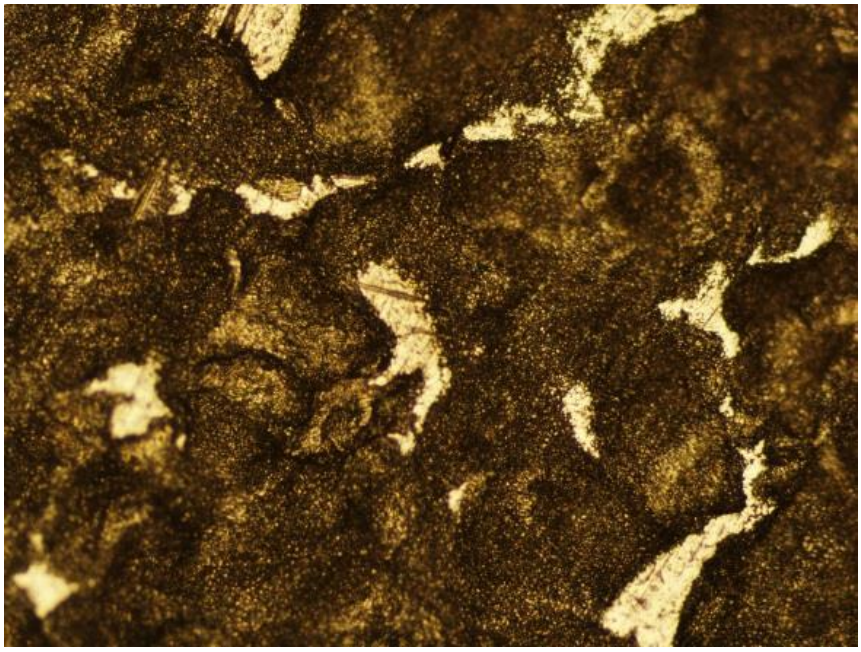


Figura 165 - Imagem M.O. da amostra de Duplex 14462 não submersa em concentração de NaClO com aumento x100

As análises realizadas através de microscopia óptica são referentes às amostras de Duplex 14462, após ensaio de imersão com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100%, apresentadas na figura 166.

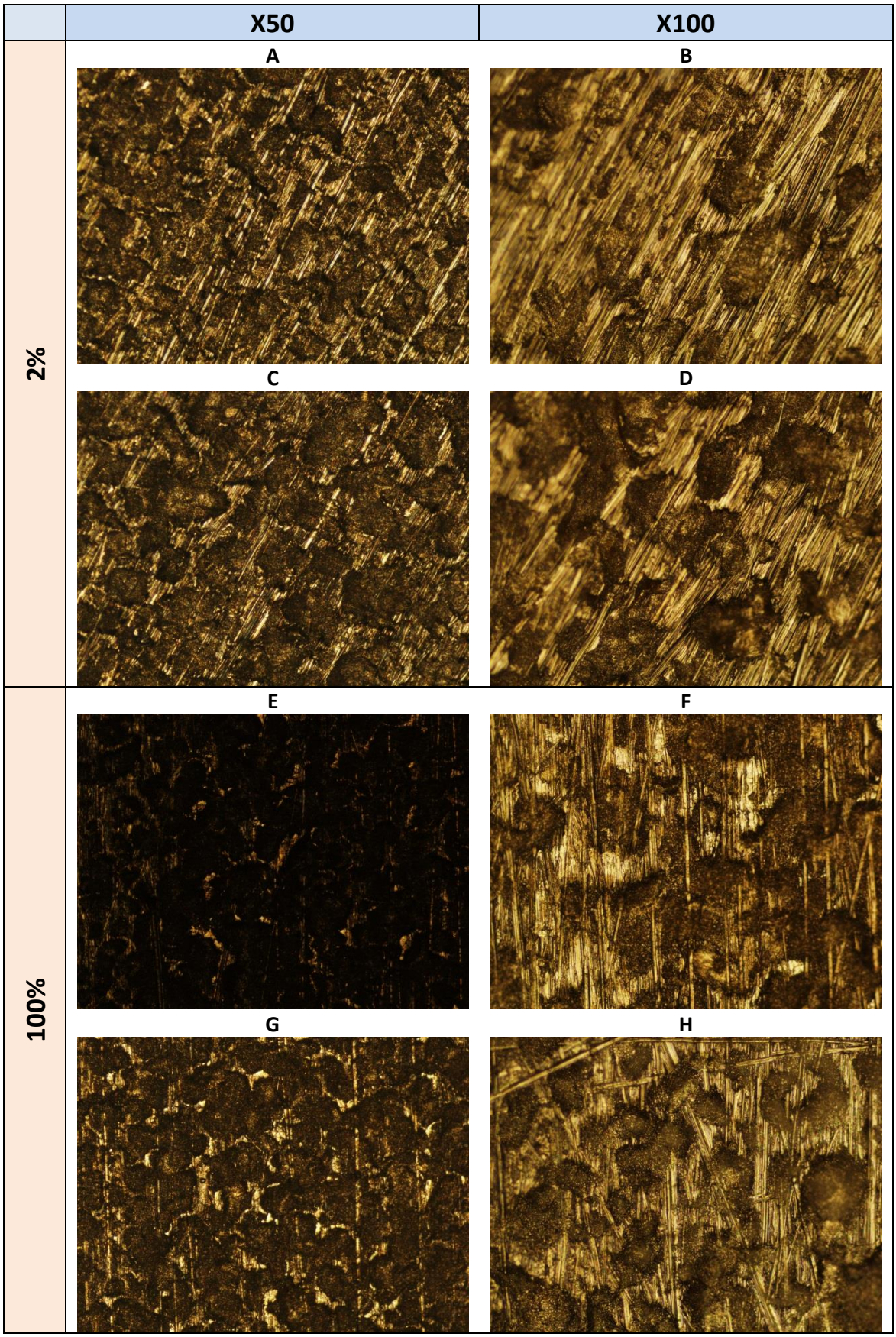


Figura 166 - Imagem de microscopia óptica X50 e X100 das amostras de Duplex 14462 submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 meses de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento X50, na qual podemos observar áreas escuras de forma circular em toda a imagem, que poderão representar zonas de degradação. Contudo, pode-se verificar algumas zonas claras, que podem corresponder a regiões menos degradadas. As imagens B e D foram conseguidas com um aumento X100, nas quais podemos observar algumas linhas que poderão ter sido marcadas na etapa de limpeza, ou de processamento da amostra. Podemos também observar mais detalhadamente as áreas circulares, possivelmente oxidadas, provocadas pelo ataque. Algumas zonas mais claras poderão igualmente corresponder a possíveis impurezas superficiais, dificultando desta forma a interpretação dos resultados obtidos.

100% de NaClO

As imagens E e G foram conseguidas com um aumento X50, e as imagens F e H com um aumento X100, nas quais podemos observar algumas linhas semelhantes às referidas nas imagens A, B, C e D. Contudo, na amostra submersa na concentração de 100% de NaClO, nota-se uma quantidade equivalente de áreas escuras, quando comparado à amostra submersa na concentração de 2% de NaClO. Podemos então afirmar que a amostra submersa na concentração de 100% de NaClO apresenta um nível aparentemente semelhante de corrosão, quando comparado à amostra submersa na concentração de 2% de NaClO. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise visual foi confirmada pela análise de microscopia óptica. Algumas zonas poderão igualmente corresponder a possíveis impurezas superficiais, dificultando desta forma a interpretação dos resultados obtidos.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 166 com a imagem da amostra padrão da figura 165. No caso do Duplex 14462, é possível distinguir-se com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração, apesar da amostra padrão apresentar alguma semelhança às amostras submersas nas soluções.

Comparando as amostras retiras após três meses de imersão com as amostras retiradas após três semanas de imersão, podemos concluir que se verifica a mesma forma de corrosão, mas com maior intensidade. Podemos concluir então que a degradação deste material é influenciada pela concentração de hipoclorito de sódio assim como pela duração do ensaio.

3.8.3.5.2.4. PVC

Antes de ser submetida ao ensaio de imersão, a amostra de PVC encontrava-se em ambiente atmosférico, estando assim propicio a qualquer contaminação exterior ou riscos provocados pelo contacto com outros materiais. Na figura 167, é possível observar pequenos pontos negros, representando possivelmente a presença de reforços adicionado ao material de base. É igualmente possível observar linhas, possivelmente causados durante o processamento do material.

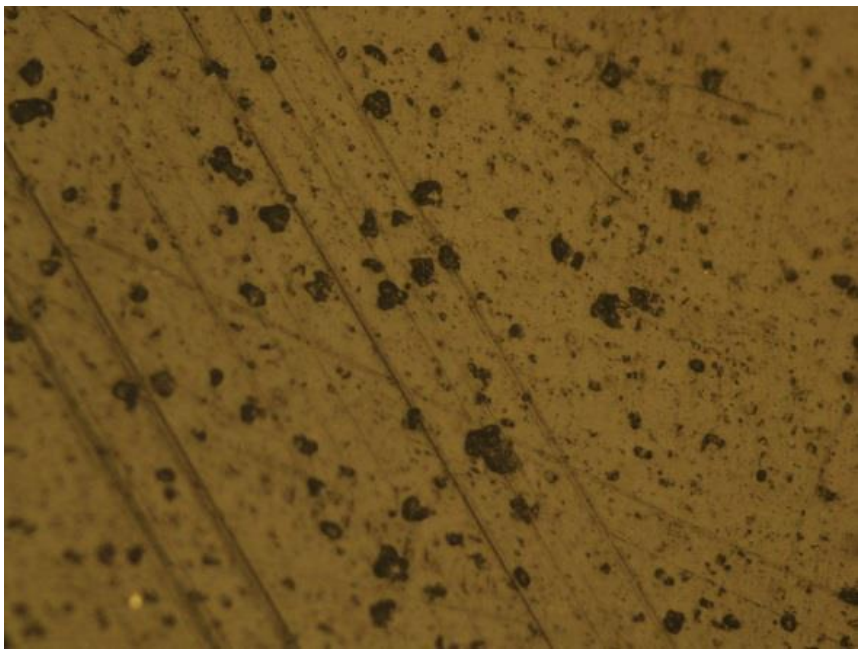


Figura 167 - Imagem M.O. da amostra de PVC não submersa em concentração de NaClO com aumento x100

As análises realizadas através de microscopia óptica são referentes ao PVC, após ensaio de imersão com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100%, apresentadas na figura 168.

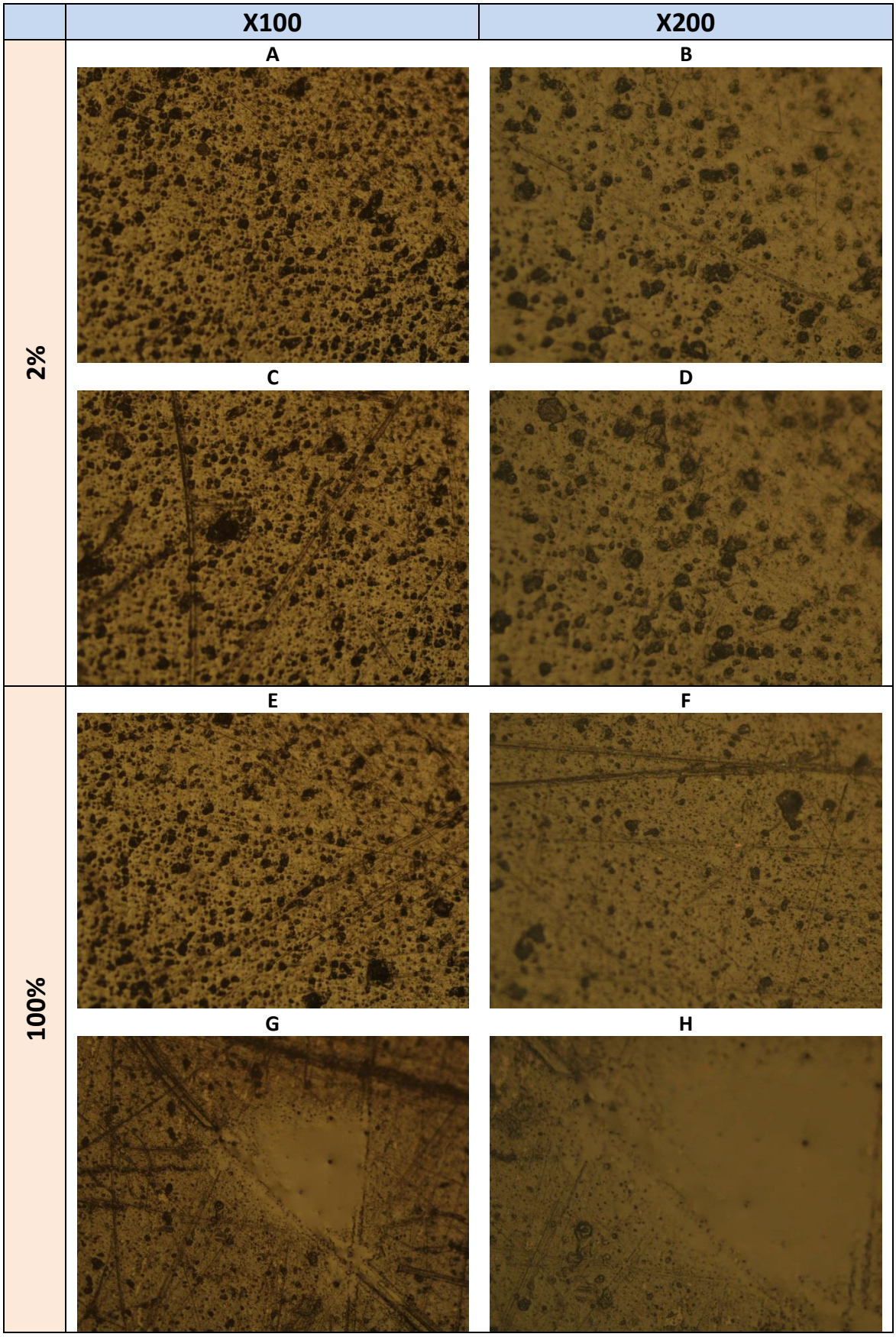


Figura 168 - Imagem de microscopia óptica X100 e X200 das amostras de PVC submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 meses de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento X100, na qual podemos observar pontos escuros de forma circular. Verifica-se igualmente algumas áreas escuras, de forma irregular e de maior dimensão, que podem corresponder a regiões atacadas com maior intensidade. Contudo, o material contém reforços, podendo também ser representado por pontos negros, tornando-se mais visíveis quantitativamente com o aumento da concentração de hipoclorito de sódio, indicando degradação do material. Também são visíveis algumas linhas, que podem corresponder a marcas feitas pelo contacto com outros materiais, ou mesmo durante o processamento do material. As imagens B e D foram conseguidas com um aumento X200, nas quais é igualmente possível observar zonas semelhantes às zonas representadas nas imagens A e C, que pode corresponder a uma área de ataque com maior intensidade.

100% de NaClO

As imagens E e G foram conseguidas com um aumento X100, e as imagens F e H com um aumento X200, nas quais podemos observar algumas linhas semelhantes às referidas nas imagens A, B, C e D. Contudo, na amostra submersa na concentração de 100% de NaClO nota-se uma quantidade maior de pontos escuros quando comparado á amostra submersa na concentração de 2% de NaClO. Podemos então afirmar que a amostra submersa na concentração de 100% de NaClO apresenta um nível mais elevado de corrosão que a amostra submersa na concentração de 2% de NaClO. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise de variação de peso, já verificada nos gráficos anteriormente apresentados, foi confirmada pela análise de microscopia óptica.

Um facto interessante que pode ser verificado na amostra submersa na concentração de 100% de NaClO, é a presença de uma área de coloração clara e de forma irregular, localizada no centro da imagem G, e ampliada na imagem H, podendo corresponder a regiões contaminadas, representando possivelmente a presença de vestígios de fluidos, visto apresentar escorrimento junto a essa mesma área. Essas figuras mostram uma zona da amostra com um possível estado avançado de degradação, possivelmente iniciada devido a presença de elevada concentração de hipoclorito de sódio.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 168 com a imagem da amostra padrão da figura 167. No caso do PVC, é possível distinguir-se com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração,

através do aumento da quantidade de pontos negros, assim como pelo aumento de diâmetro dos mesmos.

Comparando as amostras retiras após três meses de imersão com as amostras retiradas após três semanas de imersão, podemos concluir que se verifica a mesma forma de corrosão, mas com maior intensidade, observando-se uma maior quantidade de pondos negros, assim como uma maior dimensão dos mesmos. Podemos concluir então que a degradação deste material é influenciada pela concentração de hipoclorito de sódio, assim como pela duração do ensaio.

3.8.3.5.2.5. PEAD

Antes de ser submetida ao ensaio de imersão, a amostra de PEAD encontrava-se em ambiente atmosférico, estando assim propicio a qualquer contaminação exterior ou riscos provocados pelo contacto com outros materiais. Na figura 169, é possível observar pequenas manchas de forma irregular, e linhas, possivelmente causados durante o processamento do material.

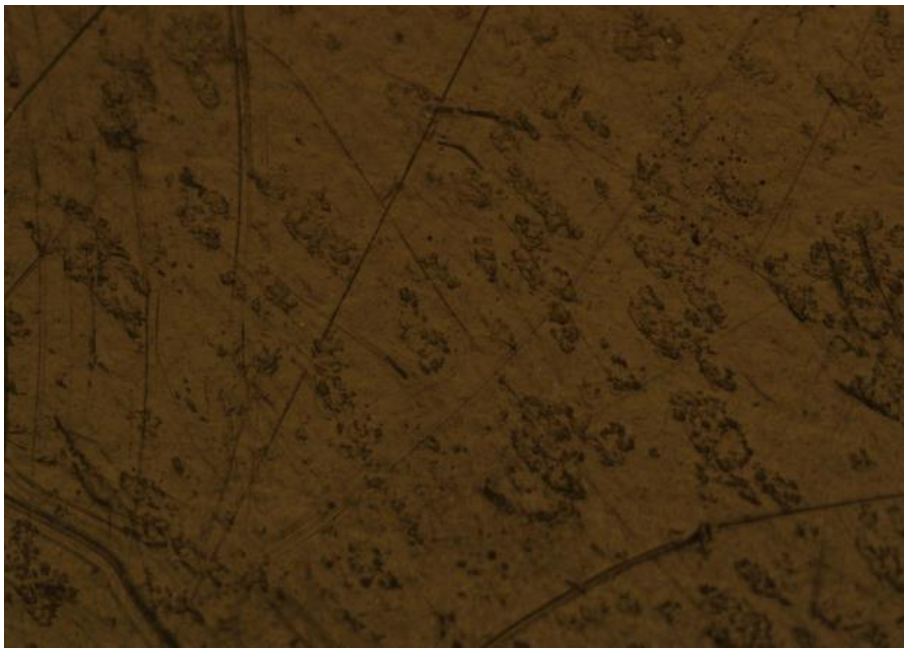


Figura 169 - Imagem M.O. da amostra de PEAD não submersa em concentração de NaClO com aumento x100

As análises realizadas através de microscopia óptica são referentes ao PEAD, após ensaio de imersão com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100%, apresentadas na figura 170.

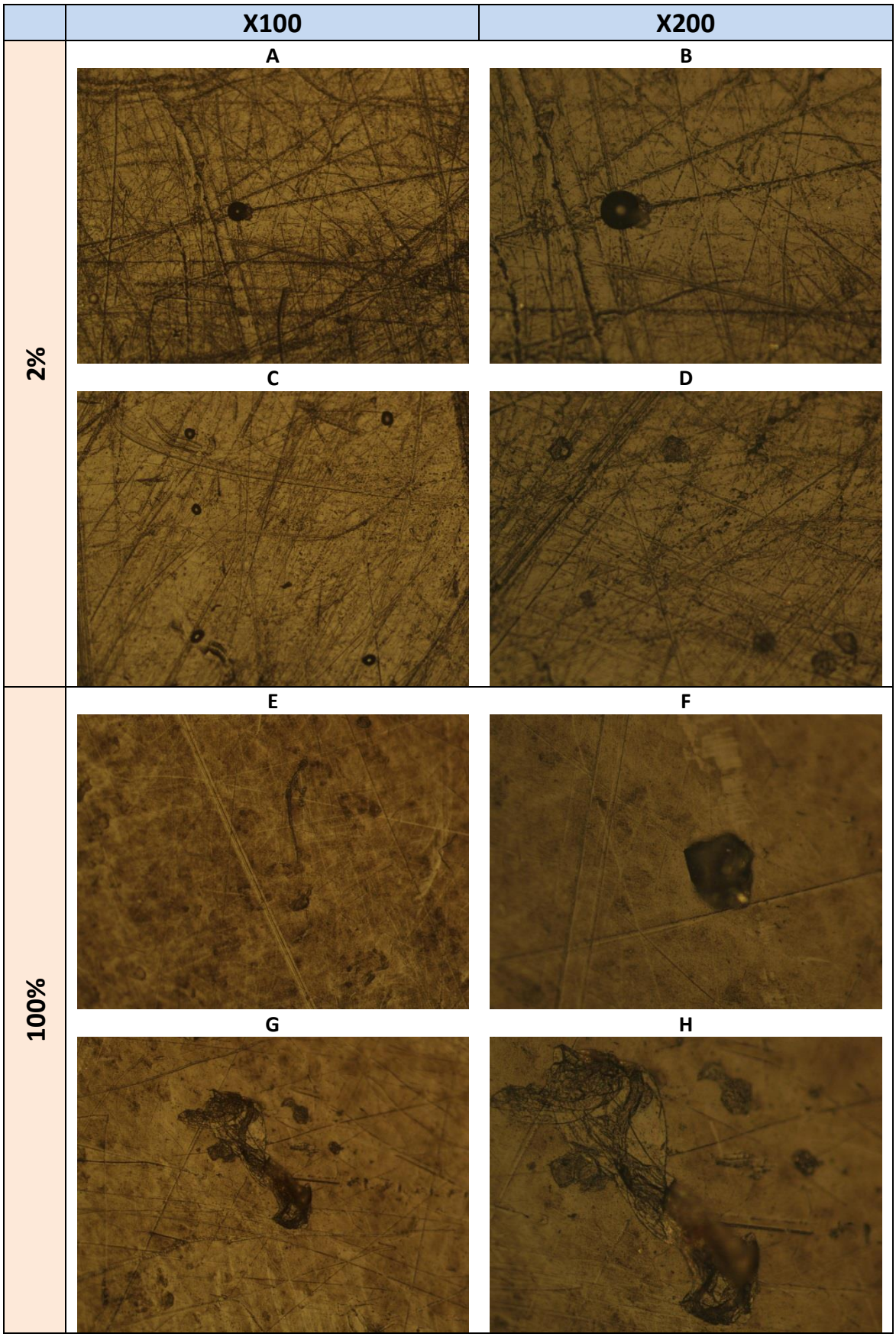


Figura 170 - Imagem de microscopia óptica X100 e X200 das amostras de PEAD submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 meses de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento X100, na qual podemos observar áreas escuras de forma circular que podem corresponder a regiões degradadas com maior intensidade. Também são visíveis algumas linhas, que podem corresponder a marcas feitas pelo contacto com outros materiais, ou mesmo durante o processamento do material. As imagens B e D foram conseguidas com um aumento X200, nas quais é possível observar mais detalhadamente as áreas observadas nas imagens A e C.

100% de NaClO

As imagens E e G foram conseguidas com um aumento X100, e as imagens F e H com um aumento X200, nas quais podemos observar algumas linhas semelhantes às referidas nas imagens A, B, C e D. Contudo, na amostra submersa em 100% de NaClO, verificam-se áreas de coloração escura e de forma irregular, quando comparado à amostra submersa em 2% de NaClO, que apenas apresentam áreas de formas circular, ambas representando degradação do material. Podemos então afirmar que a amostra submersa em 100% de NaClO apresenta um nível mais elevado de degradação, quando comparado à amostra submersa em 2% de NaClO. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise de variação de peso, podendo-se verificar nos gráficos anteriormente apresentados, foi confirmada pela análise de microscopia óptica.

Um facto interessante que pode ser verificado na amostra submersa em 100% de NaClO, é a presença de áreas de maior dimensão e de forma anormal conforme se pode observar nas imagens F e H, podendo corresponder a regiões de ataque com maior intensidade, assim como uma coloração rosa e verde, que poderão possivelmente representar a presença de sais na amostra, realçando essa coloração devido a luz emitida pelo microscópio. Essas figuras mostram uma zona da amostra com um possível estado avançado de degradação, possivelmente iniciada devido a presença de elevada concentração de hipoclorito de sódio.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 170, com a imagem da amostra padrão da figura 169. No caso do PEAD, é possível distinguir-se, com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração.

Comparando as amostras retiras após três meses de imersão com as amostras retiradas após após três semanas de imersão, podemos concluir que se verifica a mesma forma de corrosão,

mas com maior intensidade, observando-se uma maior quantidade de pondos negros, assim como uma maior dimensão dos mesmos. Podemos concluir então que a degradação deste material é influenciada pela concentração de hipoclorito de sódio assim como pela duração do ensaio.

3.8.3.5.2.6. PP

Antes de ser submetida ao ensaio de imersão, a amostra de PP encontrava-se em ambiente atmosférico, estando assim propicio a qualquer contaminação exterior ou riscos provocados pelo contacto com outros materiais. A figura 171 mostra uma superfície praticamente lisa, apresentando apenas algumas linhas , possivelmente causadas durante o processamento do material, assim como um ponto de coloração escura, podendo significar a presença de alguma impureza depositada na superfície da amostra.

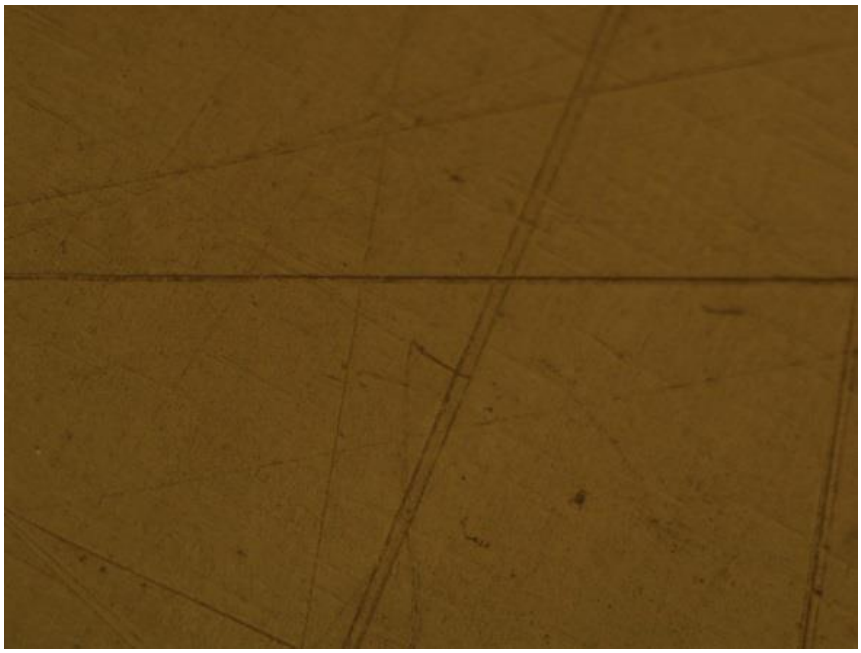


Figura 171 - Imagem M.O. da amostra de PP não submersa em concentração de NaClO com aumento x100

As análises realizadas através de microscopia óptica são referentes ao PP, após ensaio de imersão com um teor de hipoclorito de sódio de 2% e 100%, apresentadas na figura 172.

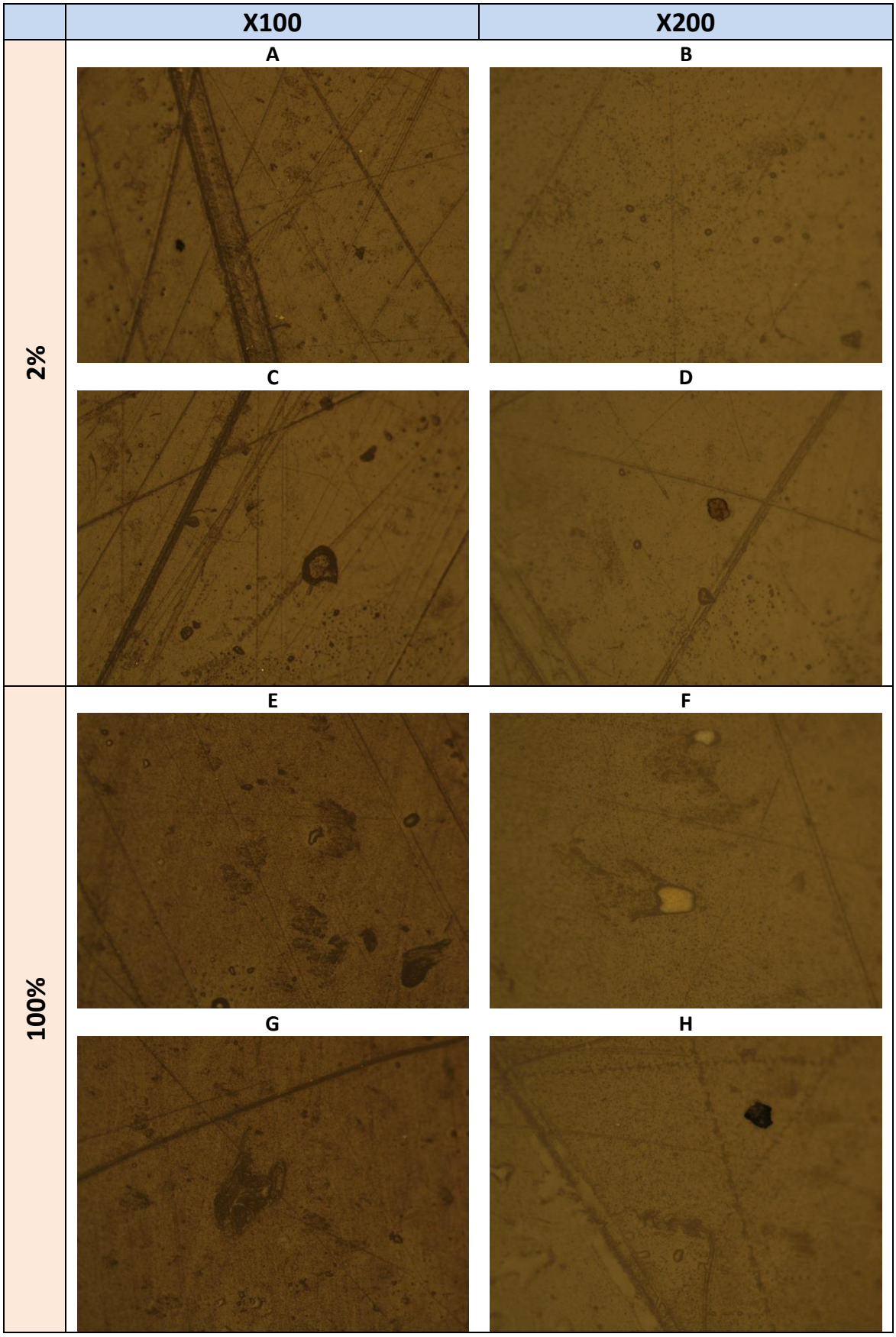


Figura 172 - Imagem de microscopia óptica X100 e X200 das amostras de PP submersas em concentrações de 2% e 100% NaClO após 3 meses de imersão

2% de NaClO

As imagens A e C foram conseguidas com um aumento X100, na qual podemos observar na imagem C algumas áreas escuras, de forma irregular, destacando-se uma área de maior dimensão, podendo corresponder a regiões atacadas com maior intensidade. Também são visíveis algumas linhas que podem corresponder a marcas feitas pelo contacto com outros materiais, ou mesmo durante o processamento do material. As imagens B e D foram conseguidas com um aumento X200, nas quais é igualmente possível observar pontos escuros de maior dimensão e de forma circular que podem corresponder a uma zona de ataque com maior intensidade. Alguns pontos mais claros observados na imagem A da figura 150, poderá igualmente corresponder a possíveis impurezas superficiais, dificultando desta forma a interpretação dos resultados obtidos.

100% de NaClO

As imagens E e G foram conseguidas com um aumento X100, e as imagens F e H com um aumento X200, nas quais podemos observar algumas linhas semelhantes às referidas nas imagens A, B, C e D. Contudo, na amostra submersa em 100% de NaClO, nota-se uma quantidade maior de áreas de coloração diferente à do material base, quando comparado à amostra submersa na concentração de 2% de NaClO, sendo algumas áreas de coloração clara (imagem F), e outras escuras (imagem E, G e H), possuindo uma forma irregular e dimensões superiores às áreas apresentadas nas amostras submersas em 2% de NaClO. Podemos então afirmar que a amostra submersa em 100% de NaClO apresenta um estado mais elevado de degradação, quando comparado à amostra submersa e concentração de 2% de NaClO. Esta constatação de degradação, já realizada numa etapa anterior por análise de variação de peso, podendo-se verificar nos gráficos anteriormente apresentados, foi confirmada pela análise de microscopia óptica.

Um facto interessante que pode ser verificado na amostra submersa em 100% de NaClO, é a presença de áreas de maior dimensão e de forma irregular, conforme se pode observar nas imagens E, G e H, podendo corresponder a regiões de ataque com maior intensidade. Essas figuras mostram uma zona da amostra com um possível estado avançado de degradação, possivelmente iniciada devido a presença de elevada concentração de hipoclorito de sódio. No entanto, é possível observar áreas de forma irregular na imagem F, podendo corresponder ao início da degradação do material.

O facto das amostras testadas apresentarem degradação, pode igualmente ser confirmado comparando as imagens da amostra submersa em 2% e 100% de NaClO da figura 172 com a

imagem da amostra padrão da figura 171. No caso do PP, é possível distinguir-se com alguma facilidade o aumento da intensidade de corrosão, conforme o aumento da concentração.

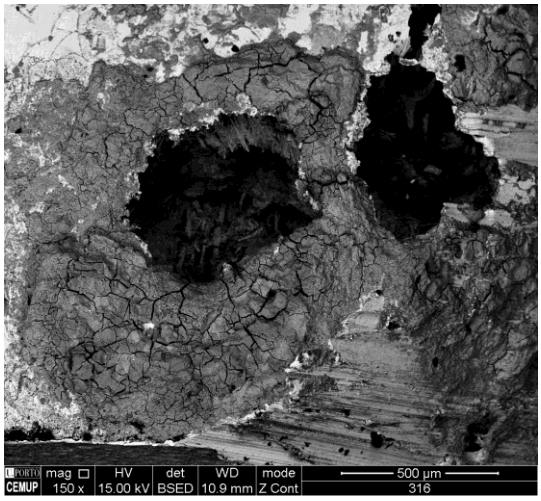
Comparando as amostras retiras após três meses de imersão, com as amostras retirada após três semanas de imersão, podemos concluir que se verifica a mesma forma de corrosão, mas com maior intensidade, observando-se uma maior quantidade de pondos negros, assim como uma maior dimensão dos mesmos. Podemos concluir então que a degradação deste material é influenciada pela concentração de hipoclorito de sódio assim como pela duração do ensaio.

3.8.3.5.3. Resultados obtidos por análise de microscopia electrónica

A morfologia dos materiais analisados após três meses de imersão, através da microscopia electrónica de varredura, será apresentada neste capítulo e será dividida nos diversos tipos de materiais estudados, sendo apenas utilizadas as amostras submersas em concentração de 100% de hipoclorito de sódio, tendo em conta que foram as amostras que sofreram um ataque corrosivo mais forte. Nesta análise, serão apenas avaliadas as amostras, visto não ser possível caracterizar o produto de corrosão após o ensaio de imersão, pois o produto formado é solubilizado pela solução de imersão.

3.8.3.5.3.1. Aço inoxidável 316L

A figura 173 representa a amostra de aço inoxidável 316L submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução com diferentes aumentos.

Aço inoxidável 316L
A 

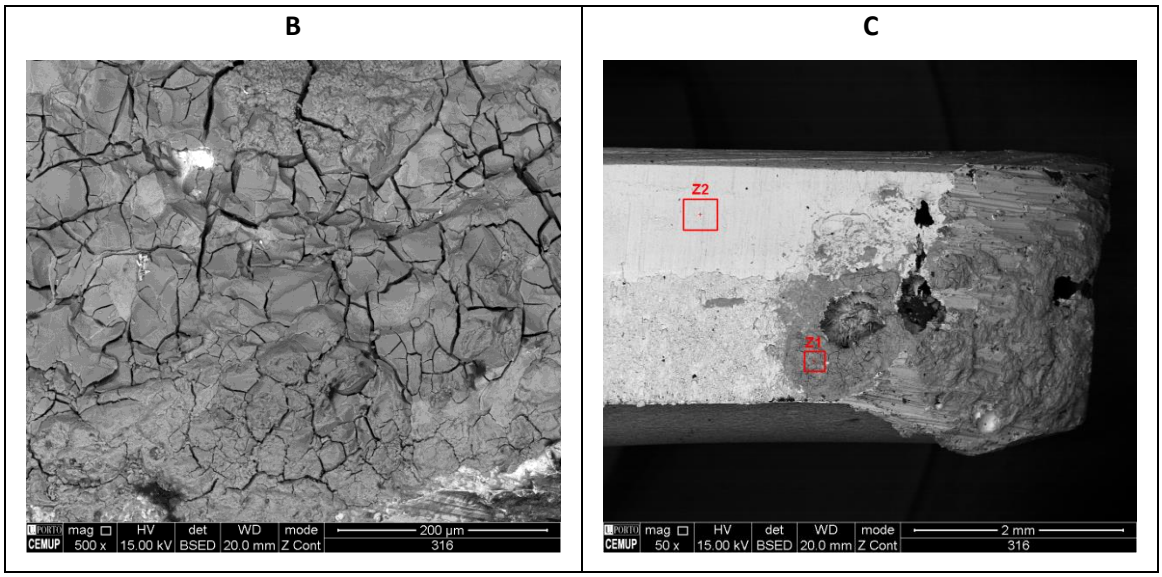
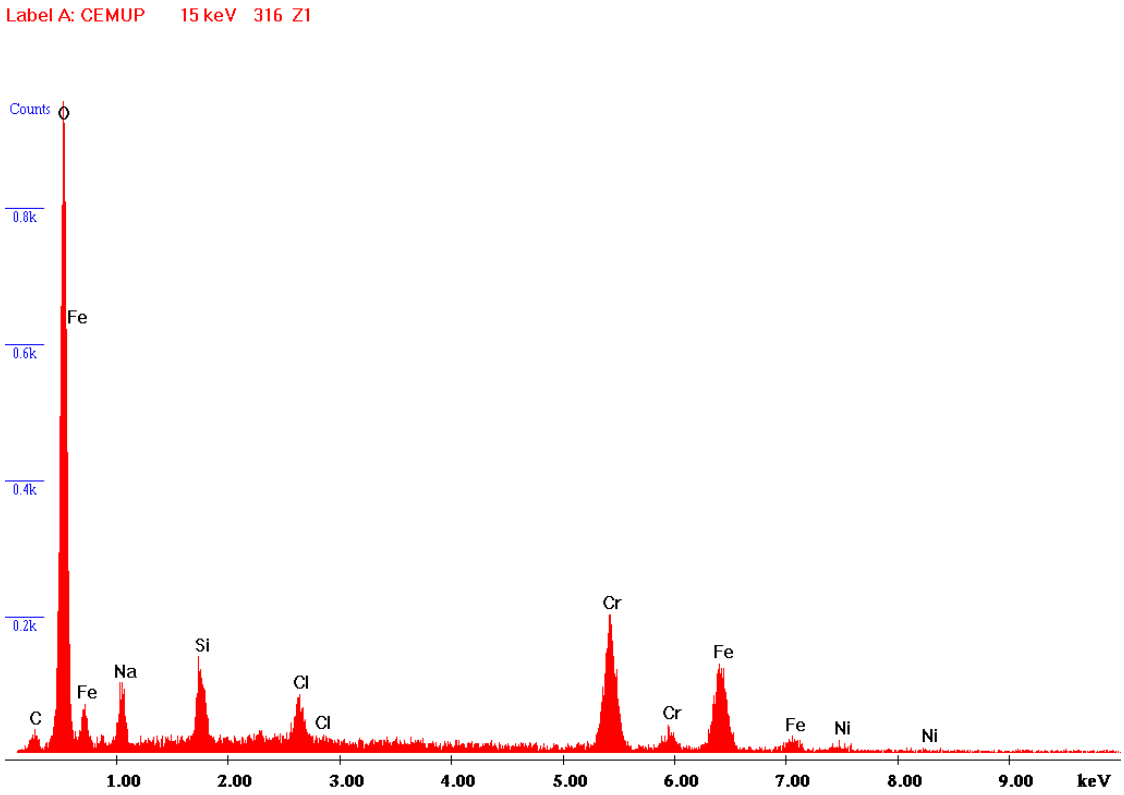


Figura 173 - Imagem MEV da amostra de aço inoxidável 316L submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x150 (A), x500 (B) e x50 (C)

Analisando a figura 173, é possível observar na zona inferior da imagem A, uma elevada quantidade de pequenos pontos escuros, encontrados também noutras zonas da amostra, podendo corresponder à presença de contaminantes na superfície da amostra. É igualmente possível observar duas crateras de elevada dimensão, entre o centro e a extremidade superior da imagem, possivelmente causada e agravada pelo ataque corrosivo, assim como marcas (linhas), possivelmente realizadas durante a etapa de limpeza da amostra. As crateras podem, no entanto, ter sido igualmente causadas por defeitos ocorridos durante o processo de fabrico do material. Na imagem C, é possível observar zonas distintas da amostra, que permite observar e comparar áreas em que a amostra sofreu ataque corrosivo por parte da solução (Z1), e outras em que a amostra permaneceu imune (Z2). Na zona Z1, a amostra apresentou uma elevada quantidade de oxigénio e ferro, significando a presença de corrosão. Contudo, a amostra contêm igualmente crómio e níquel, em baixa quantidade, significando no entanto que em certas regiões, não houve degradação total do material por parte do cloro, deixando estes constituintes fazer o seu papel protector, reagindo com o oxigénio formando uma camada de óxido de crómio, por exemplo. Como seria de esperar, foi detectada na zona Z1 a presença de cloro e de sódio, visto que é o hipoclorito de sódio que está na origem dos ataques. Na zona Z2, a amostra reagiu melhor ao ataque corrosivo, apresentado os seus constituintes em maior quantidade quando comparado com a zona Z1, na qual não se verifica sequer a presença de molibdénio, significando então uma menor destruição dos mesmos, e maior protecção do material. No entanto, verifica-se a presença de oxigénio e de ferro, significando que o ataque se manifestou sobre a zona Z2 da amostra. A imagem C da figura 173, mostra mais detalhadamente o aspecto da zona Z2, na qual se pode observar uma

superfície coberta de óxidos, mostrando que sofreu ataque corrosivo. Estes factos constatam-se evidentemente através da análise EDS apresentados nas imagens A e B respectivamente, da figura 174.

A



B

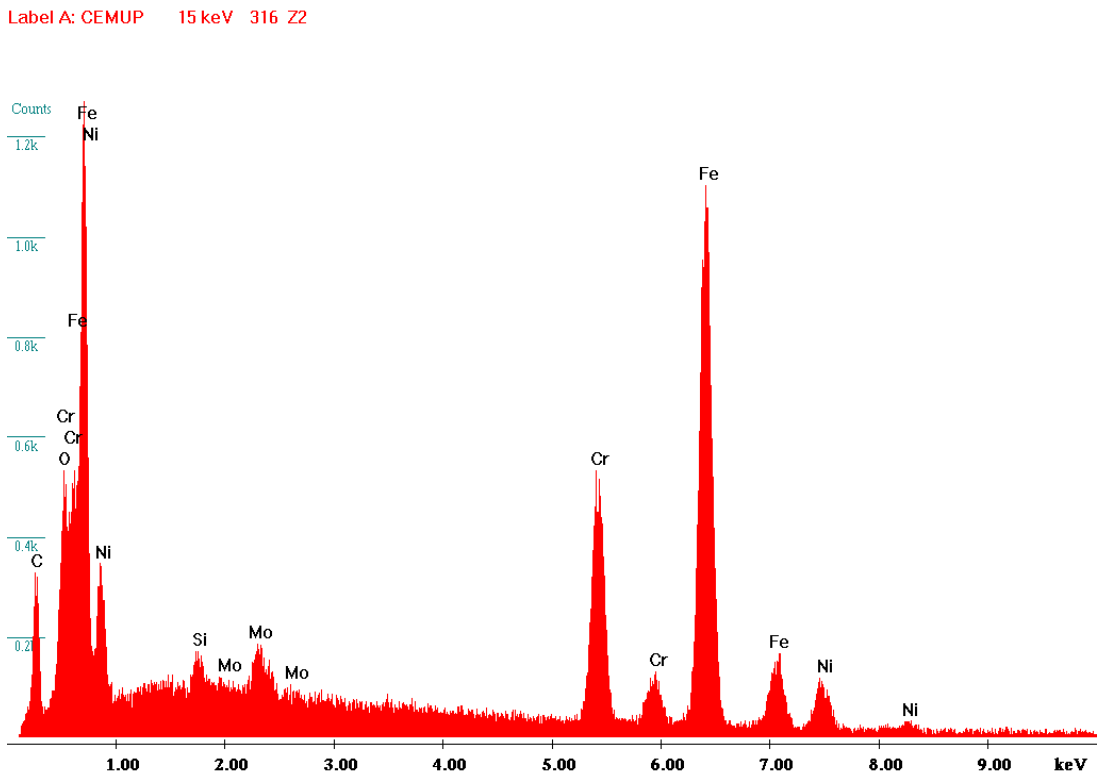
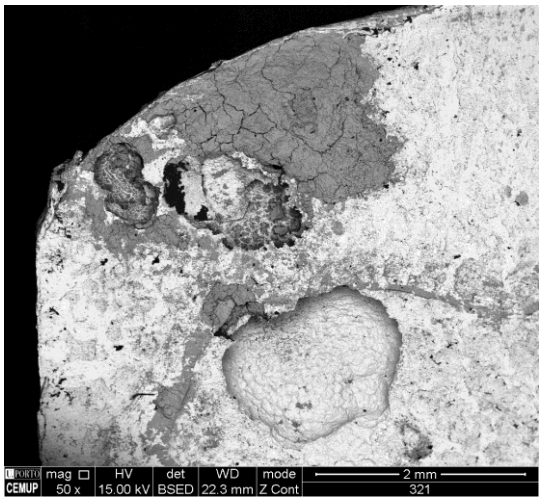
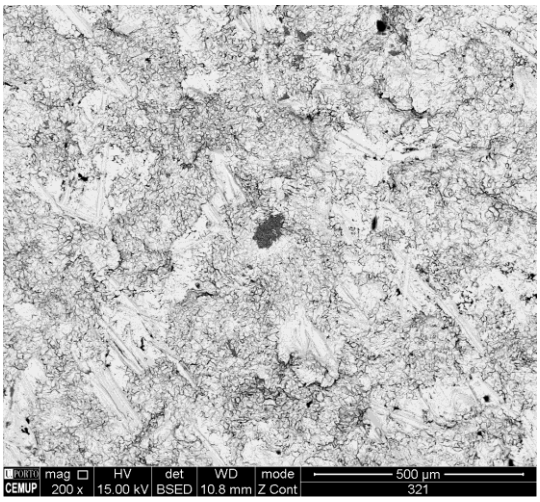


Figura 174 - Caracterização dos elementos químicos presentes na Zona Z1 (A) e Z2 (B) da amostra de aço inoxidável 316L observada na figura anterior

3.8.3.5.3.2. Aço inoxidável 321

A figura 175 representa a amostra de aço inoxidável 321, submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

Aço inoxidável 321	
A	**B**
	

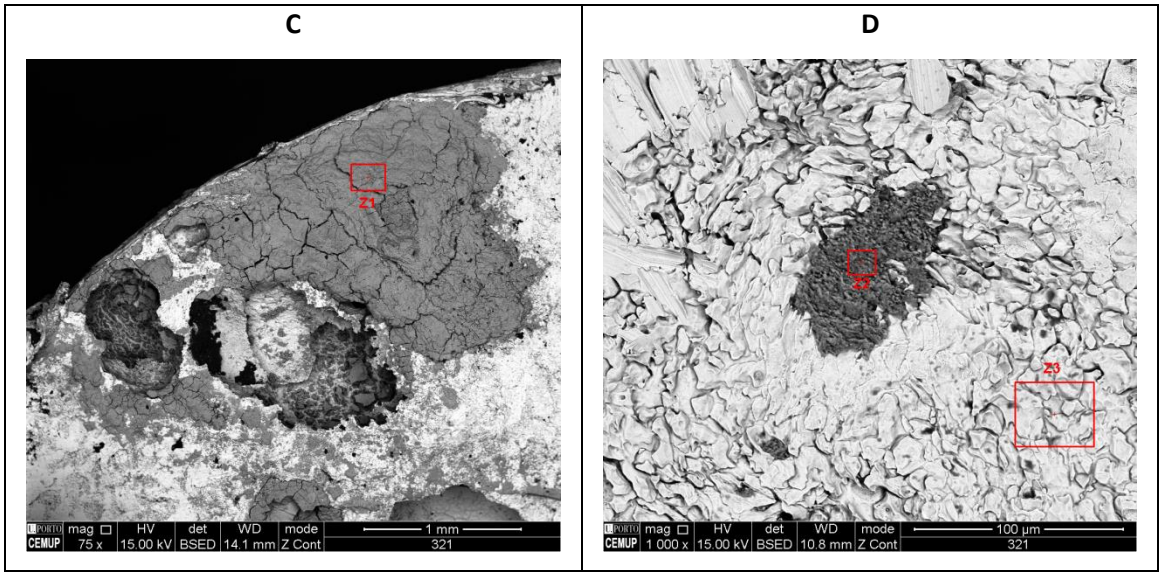
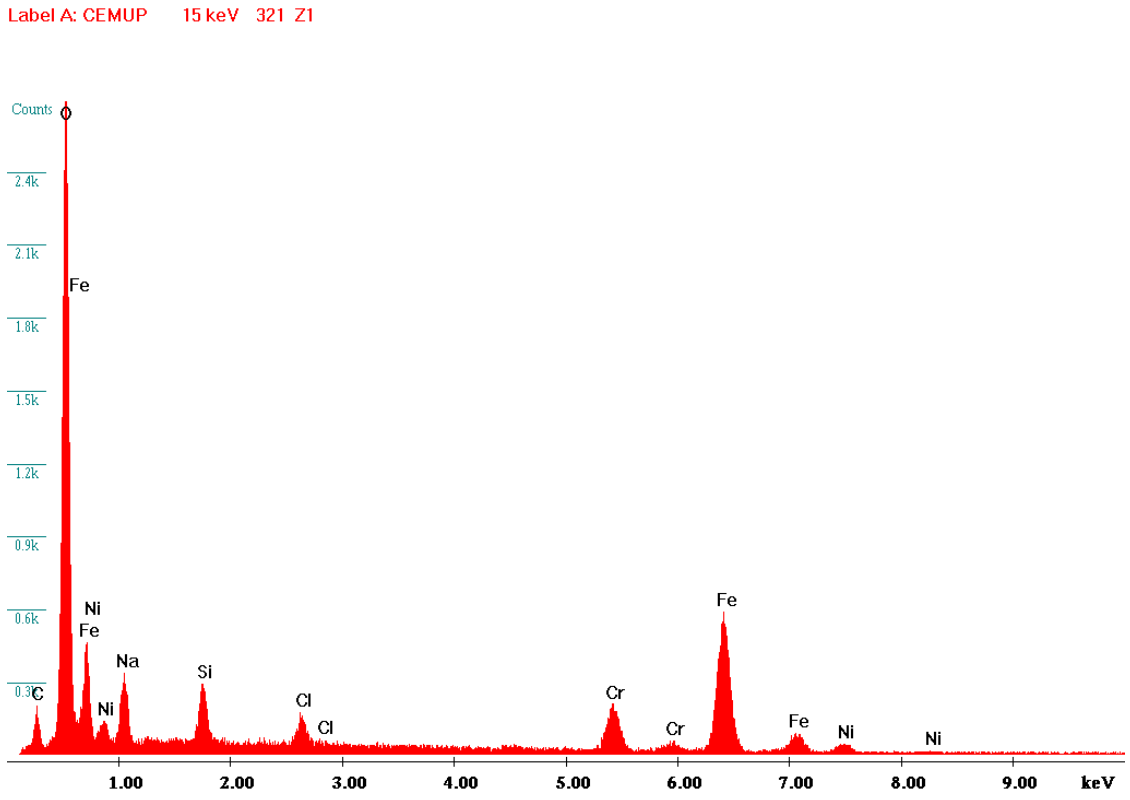


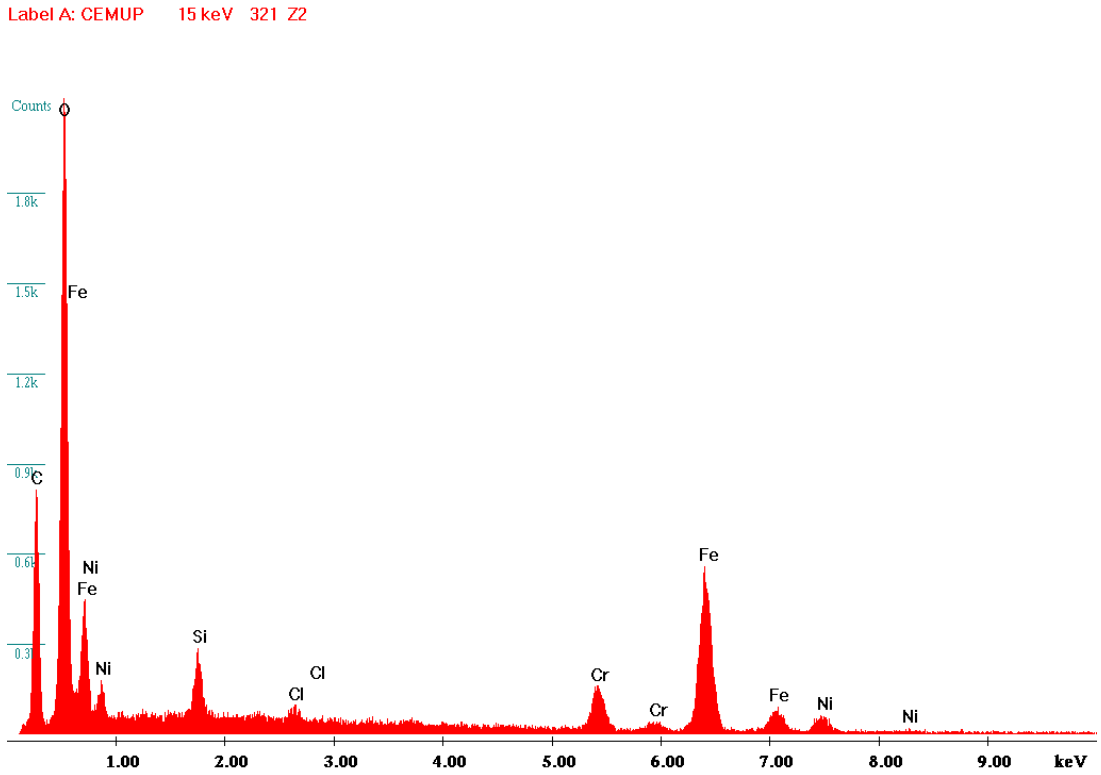
Figura 175 - Imagem MEV da amostra de aço inoxidável 321 submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x50 (A), x200 (B), x75 (C) e x1000 (D)

Analisando a figura 175, é possível observar nas imagens A, B, C e D, uma elevada quantidade de pequenos pontos de coloração mais escuras, que podem corresponder a zonas de corrosão. No entanto, pode igualmente corresponder a impurezas na superfície da amostra, ou mesmo defeitos ocorridos durante o processo de fabrico do material. Na imagem D, é possível observar zonas distintas da amostra, que permite observar e comparar áreas em que a amostra sofreu ataque corrosivo por parte da solução (Z2), e outras em que a amostra permaneceu imune (Z3). Na imagem B, podemos observar uma área de coloração escura e de forma irregular, no centro da imagem, significando que nessas áreas, a amostra sofreu um ataque corrosivo mais forte por parte do hipoclorito de sódio. A zona Z2 representa mais detalhadamente essa área de forma irregular, apresentando uma elevada quantidade de oxigénio e ferro, significando a presença de corrosão. Os componentes encontrados são semelhantes às que foram detectados na zona Z1 da imagem C, representando mais detalhadamente a área degradada no canto superior esquerda da imagem A, confirmando uma zona degradada da amostra visível a olho nu. Este facto constata-se evidentemente através da análise E.D.S., apresentados na imagem A para a zona Z1 e na imagem C para a zona Z2, da figura 175. Nas zonas Z1 e Z2, é também possível verificar a presença de cloro, visto que é um dos agentes que está na origem dos ataques. No entanto, só foi detectado sódio na zona Z1, apesar de esperado igualmente na zona Z2. Este facto deve-se possivelmente às características da camada de óxido formada, não libertando o sódio com tanta facilidade após a limpeza. Na zona Z3, a amostra reagiu melhor ao ataque corrosivo, apresentado os seus constituintes em maior quantidade quando comparado com a zona Z1, na qual não se verifica sequer a presença de titânio, significando menor destruição dos mesmos e maior protecção do

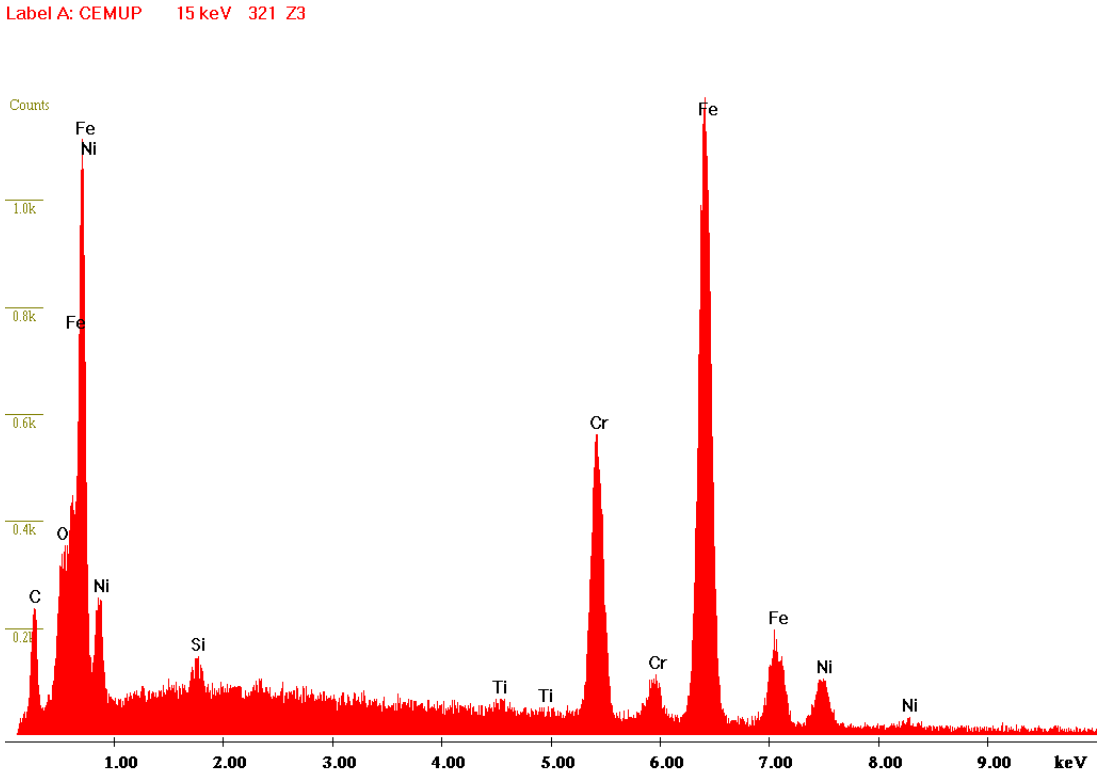
material. No entanto, verifica-se a presença de oxigénio e de ferro, significando que o ataque se manifestou sobre a zona Z3 da amostra. Apesar de esperado, não se verificou a presença de cloro na zona Z3. O facto de ter sido encontrada uma quantidade razoável de ferro e oxigénio, significando corrosão nessa zona, indica que o cloro presente na solução conseguiu penetrar na camada passivante do material. A inexistência de cloro, pode dever-se igualmente à forma com que as amostras foram manipuladas e armazenada. A presença de crómio, titânio e níquel, significa que em certas regiões não houve ataque por parte do cloro, deixando estes constituintes fazer o seu papel protector, reagindo com o oxigénio, formando uma camada de óxido de crómio, por exemplo. Observando a figura 175, podemos igualmente concluir que as áreas mais escuras apresentam maior de gradação, quando comparadas às áreas mais claras. Todos estes factos constatam-se evidentemente através da análise E.D.S., apresentados nas imagens A, B e C da figura 176. Importa também referir que o aspecto topográfico da superfície da amostra, principalmente visível na imagem D da figura 175, deve-se igualmente a defeitos ocorridos durante o processo de fabrico, e não apenas á degradação da superfície.

A





B



C

Figura 176 - Caracterização dos elementos químicos presentes na Zona Z1 (A) e Z2 (B) da amostra de aço inoxidável 321 observada na figura anterior

3.8.3.5.3.3. Duplex 14462

A figura 177 representa a amostra de duplex 14462, submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

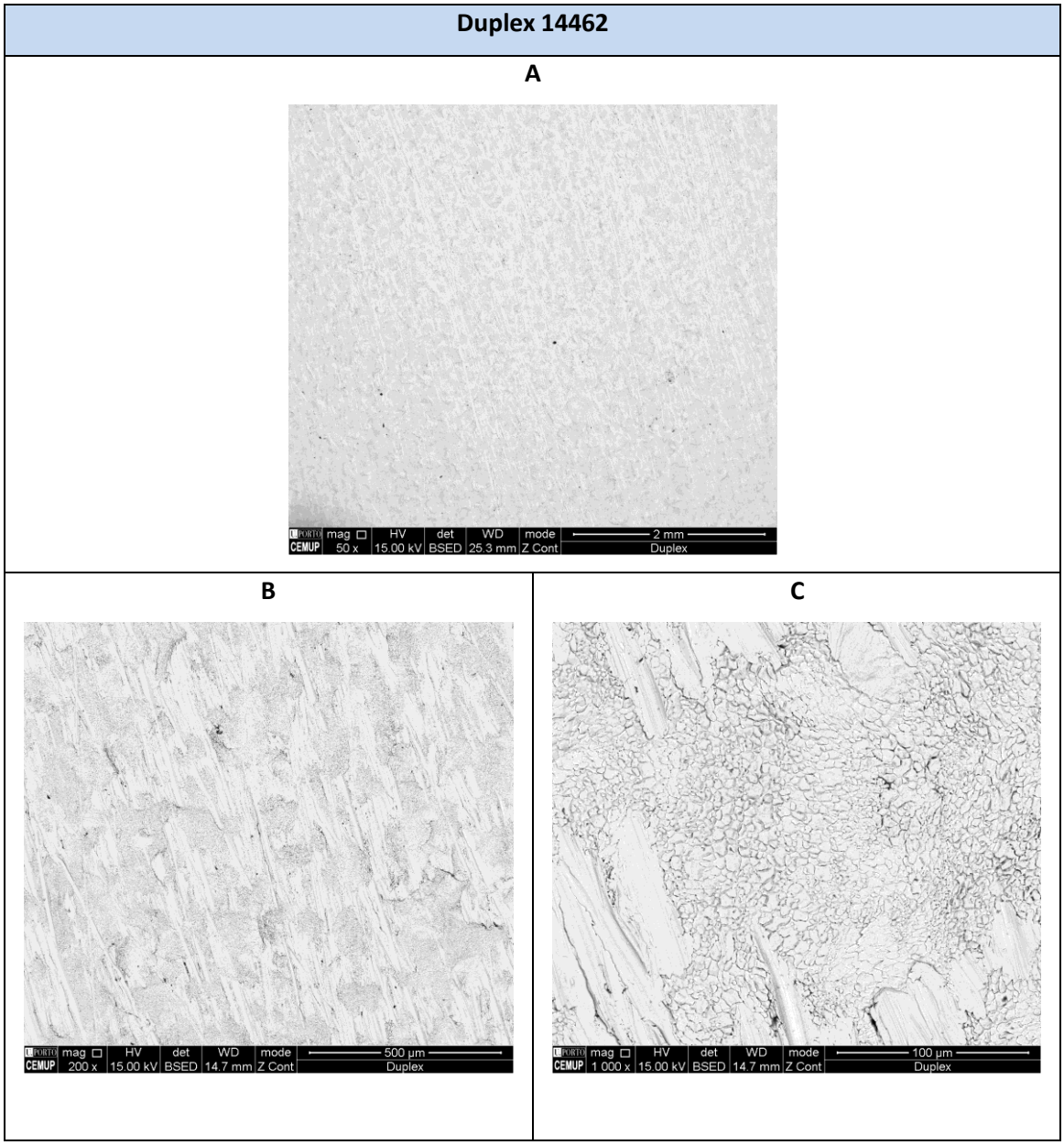


Figura 177 - Imagem MEV da amostra de Duplex 14462 submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x50 (A), x200 (B) e x1000 (C)

Analisando a figura 177, é possível observar na imagem A, B e C, alguns pontos com coloração escura, que podem corresponder a pequenas picadas provocadas pela solução de NaClO. No entanto, pode igualmente corresponder a contaminações na superfície da amostra. Nestas

imagens, é igualmente possível distinguir aparências distintas de superfície. Importa referir que o aspecto topográfico irregular da superfície da amostra, principalmente visível na imagem B e C da figura 177, deve-se a defeitos ocorridos durante o processo de fabrico, e não á degradação da superfície. Também são visíveis linhas, provocadas durante a etapa de limpeza. De uma forma global, a amostra permaneceu praticamente imune ao ataque corrosivo. Apesar de esperado, não se verificou a presença de cloro. Contudo, a amostra apresenta valores elevados de crómio, níquel e molibdénio por exemplo, significando que não houve deterioração dos mesmos. Estes constituintes têm como um dos principais objectivos proteger o material contra ataques corrosivos. A inexistência de cloro pode dever-se à forma como as amostras foram manipuladas e armazenada. Este facto constata-se através da análise E.D.S, apresentado na figura 178, na qual é possível identificar os compostos químicos do material.

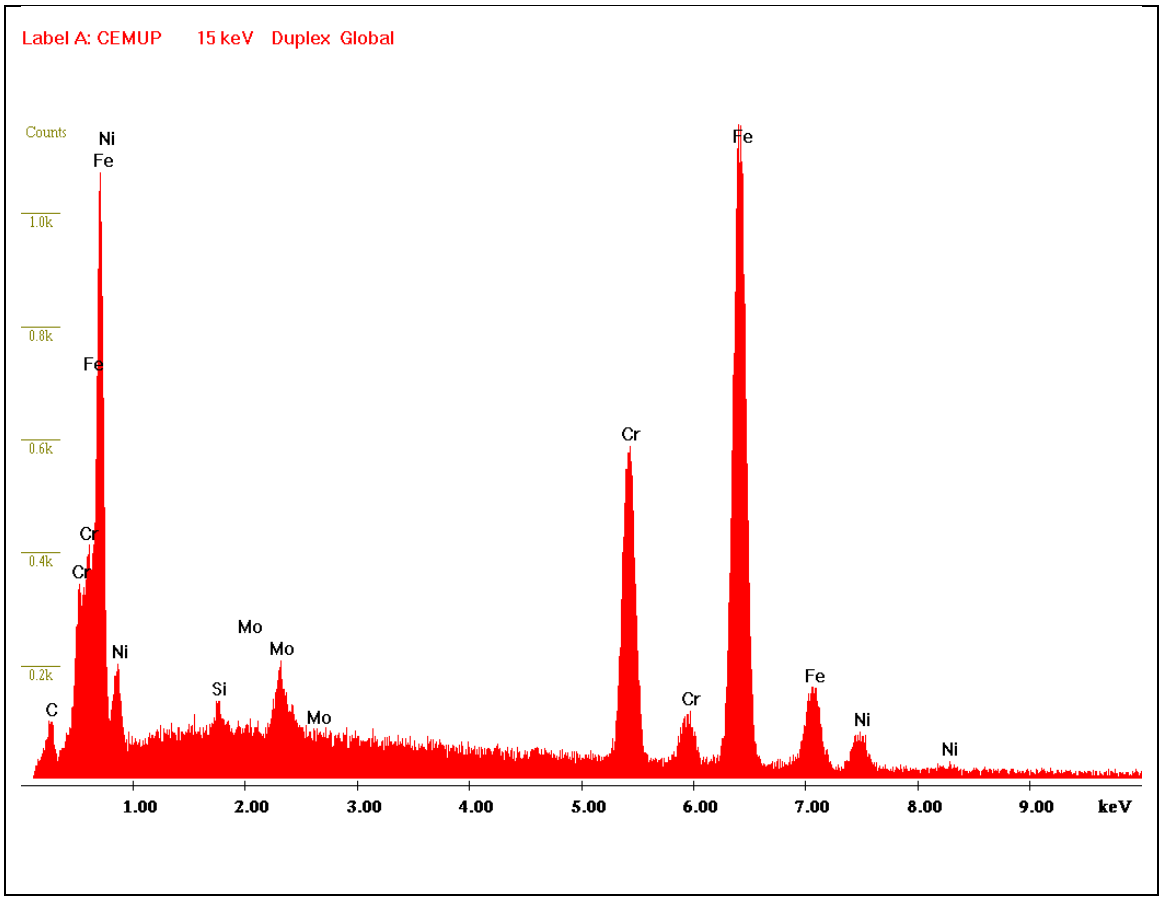


Figura 178 - Caracterização dos elementos químicos presentes globalmente na amostra de Duplex 14462 observada na figura anterior

3.8.3.5.3.4. PVC

A figura 179 representa a amostra de PVC submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

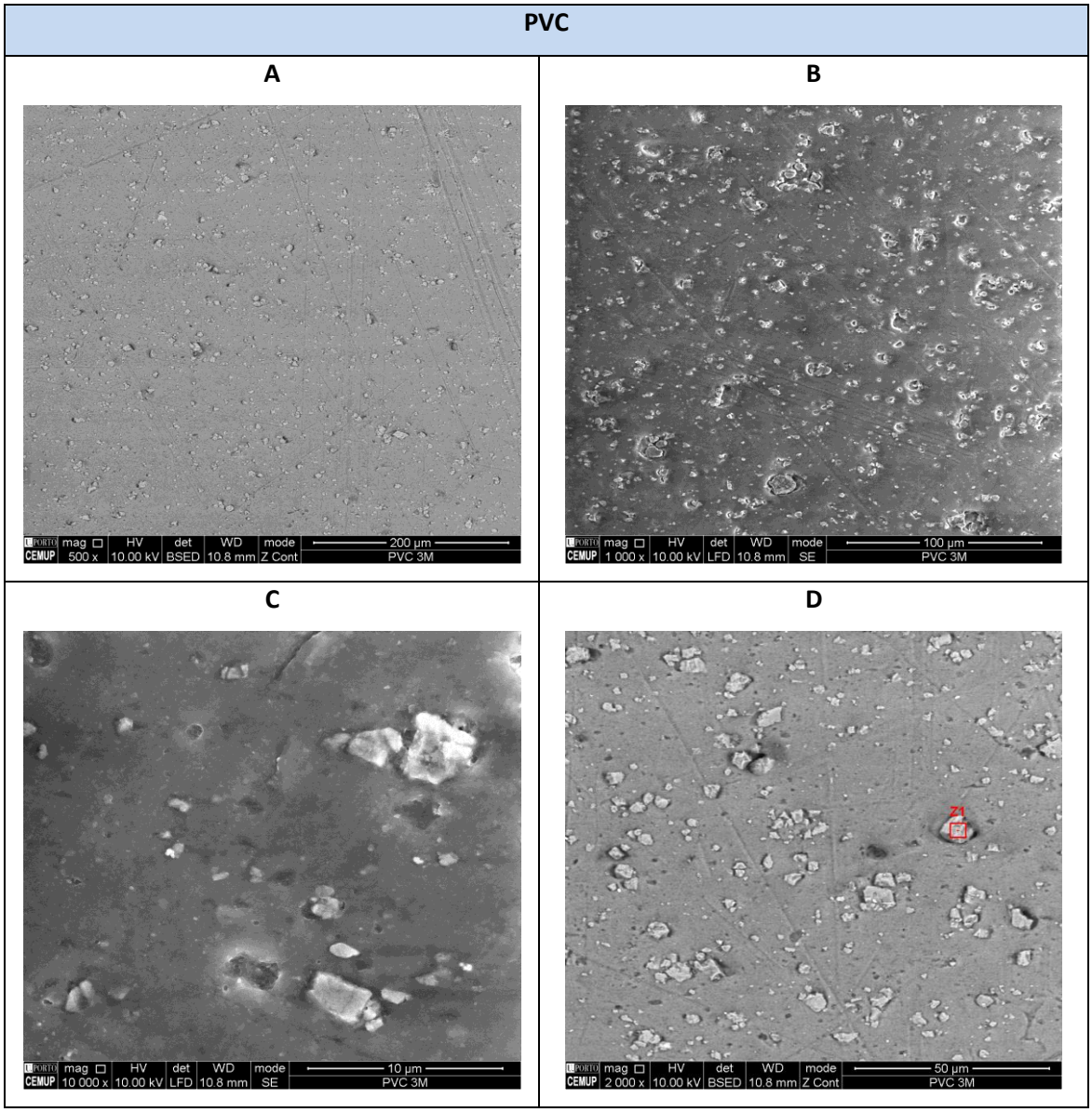


Figura 179 - Imagem MEV da amostra de PVC submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x500 (A), x1000 (B), x10000 (C) e x2000 (D)

Analisando a figura 179, é possível observar zonas distintas da amostra, permitindo uma análise mais adequada sobre o estado do material. De uma forma geral, podemos constatar que a amostra apresenta um aspecto idêntico em toda a sua superfície. A superfície da amostra apresenta pequenos pontos de coloração mais clara, quando comparado à do material base, indicando a presença de reforços no material. No entanto, e de uma forma global, a amostra apresentou uma elevada quantidade de oxigénio, assim como cloro, carbono

e cálcio, sendo estes três últimos em menor quantidade. A elevada presença de oxigénio deve-se a presença de cálcio na amostra. A presença de cálcio, representado pelos pontos de coloração mais claros, indica que o material contém reforços contendo cálcio. Verificam-se igualmente algumas manchas negras, indicando a presença de algumas impurezas à superfície da amostra. Este facto constata-se evidentemente através da análise E.D.S. apresentados na da figura 180. Na imagem C, é possível observar mais detalhadamente uns dos pequenos pontos encontrados em toda a superfície, semelhante ao da zona Z1, localizada na imagem D, tratando-se de um elemento de reforço do material. Através da análise E.D.S., podemos constatar que os principais elementos químicos encontrados na zona Z1, são o oxigénio e o carbono, podendo significar pequenas áreas nas quais o material apresenta alguma degradação inicial. É igualmente possível observar vestígios de hipoclorito de sódio, podendo-se confirmar com a caracterização dos elementos químicos apresentados na figura 180.

Contudo, esta análise confirma a análise visual já realizada anteriormente, na qual a amostra não apresentou índices de degradação à superfície. Importa igualmente referir, que este material contém cloro na sua própria estrutura, podendo a presença de cloro na análise ser confundida com o da solução em que esteve submerso.

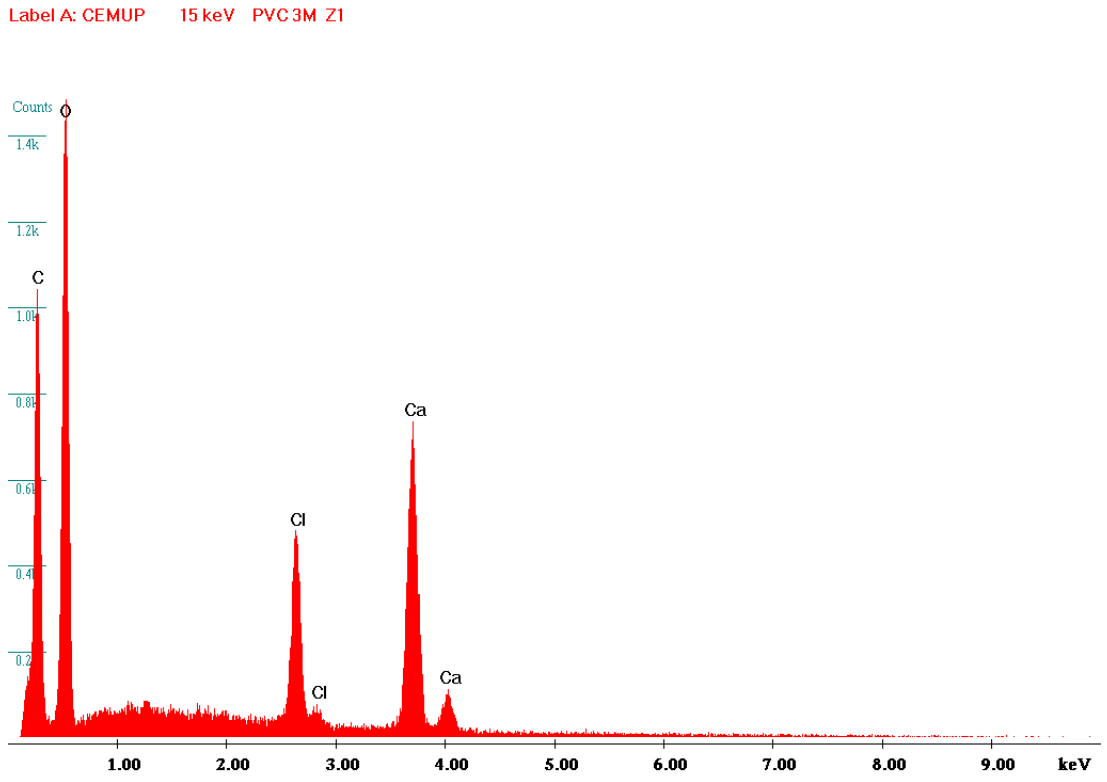


Figura 180 - Caracterização dos elementos químicos presentes na Zona Z1 da amostra de PVC observada na figura anterior

3.8.3.5.3.5. PEAD

A figura 181 representa a amostra de PEAD submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

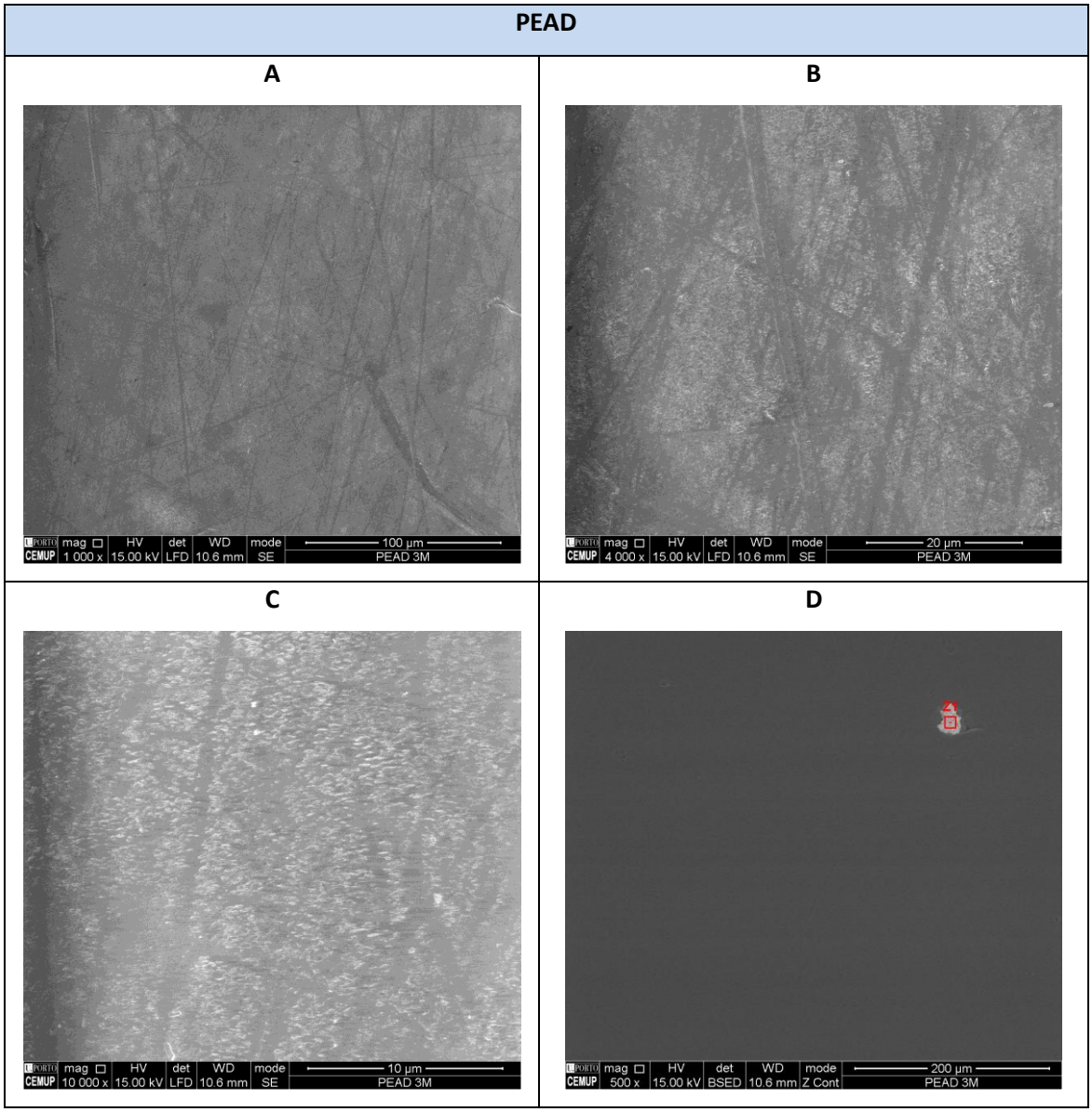
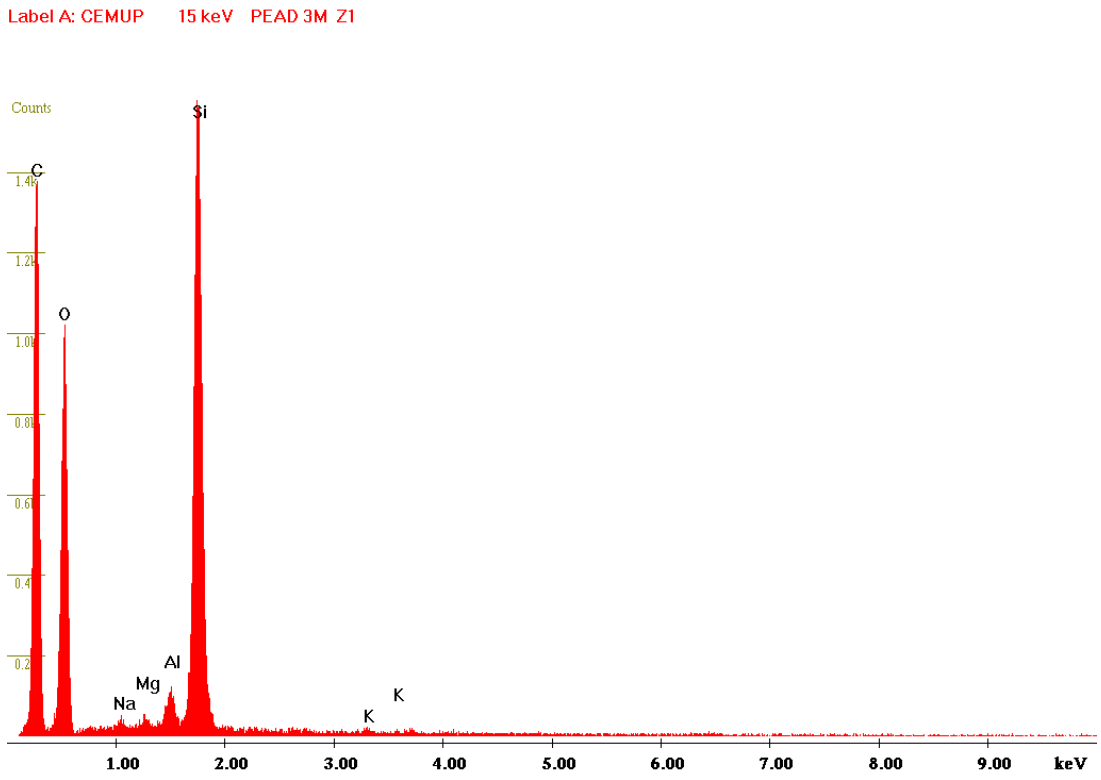


Figura 181 - Imagem MEV da amostra de PEAD submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x1000 (A), x4000 (B), x10000 (C) e x500 (D)

Analisando a figura 181, é possível observar zonas distintas da amostra, permitindo uma análise mais adequada sobre o estado do material. A superfície da amostra apresenta pequenos pontos de coloração clara, distinguindo-se do material base, assim como linhas, provocadas durante a preparação da amostra. De uma forma global, a amostra apresentou uma elevada quantidade de carbono, assim como algum oxigénio, sendo este último em menor quantidade. Este facto constata-se evidentemente através da análise EDS apresentados

na imagem A, da figura 181. Na zona Z1, identificada na imagem D, é possível observar mais detalhadamente uns dos pequenos pontos encontrados na superfície da amostra, como foi mencionado inicialmente. Através da análise E.D.S., podemos constatar que os principais elementos químicos encontrados na zona Z1 continuam a ser o oxigénio, silício, carbono, alumínio, magnésio e sódio. O sódio deve-se à solução de hipoclorito de sódio em que a amostra esteve submersa, podendo ter ficado retidos pelo material na etapa de limpeza. O magnésio e o alumínio podem possivelmente ser entendidos como uma impurezas superficiais do material, podendo ter sido depositada em fase de preparação ou armazenamento da mesma. O elevado teor de oxigénio, deve-se possivelmente à presença dos componentes presentes como o silício e o alumínio, por exemplo. Observando a figura 181, podemos também concluir que as zonas contendo pequenos pontos idênticos aos da zona Z1 da imagem D, podem apresentar futuramente maior degradação quando comparado com as restantes zonas da amostra, devido á presença de resíduos de hipoclorito de sódio á superfície. Este facto pode ser confirmado através da imagem B, da caracterização dos elementos químicos apresentados na figura 182. Contudo, Observando a figura 181, podemos também observar pequenos traços de coloração branca na imagem C, podendo possivelmente, significar degradação do material.

A



B

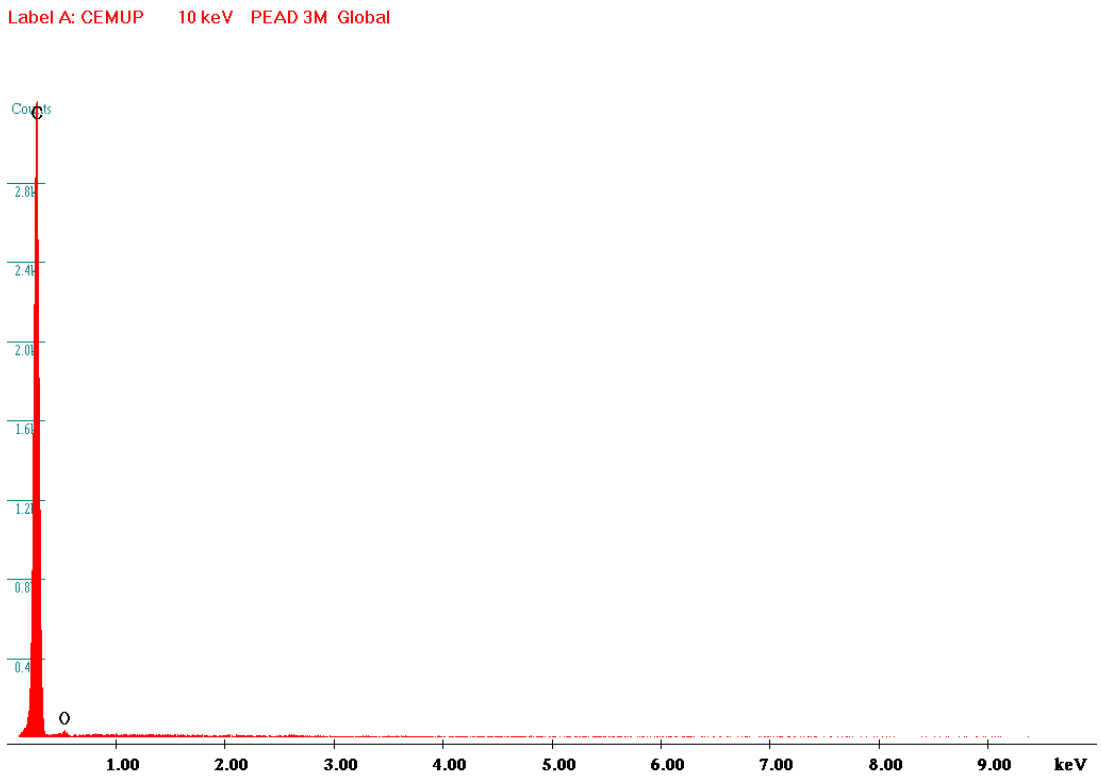
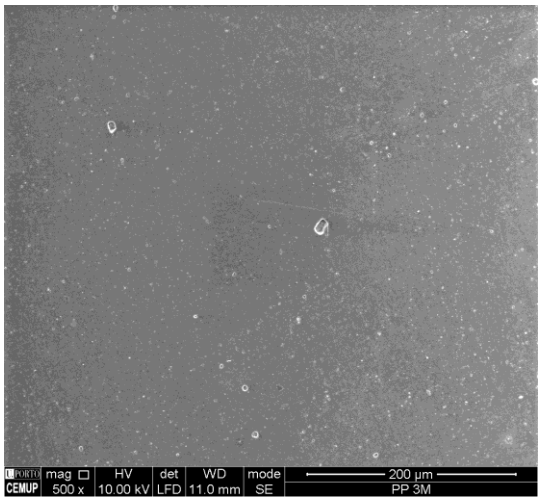


Figura 182 - Caracterização dos elementos químicos presentes na Zona Z1 (A) e num aspecto global (B) da amostra de PEAD observada na figura anterior

3.8.3.5.3.6. PP

A figura 183 representa a amostra de PP submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

PP
A 

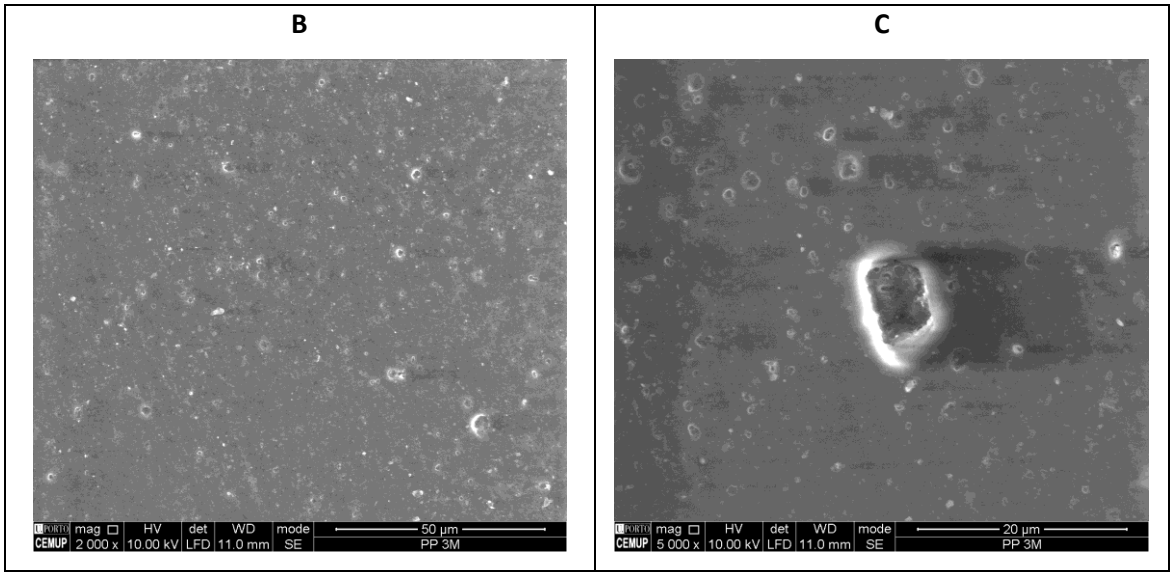


Figura 183 - Imagem MEV da amostra de PP submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x500 (A), x10000 (B) e x5000 (C)

Analisando a figura 183, é possível observar zonas distintas da amostra, permitindo uma análise mais adequada sobre o estado do material. Assim como nos restantes materiais poliméricos, a superfície da amostra apresenta pequenos pontos de coloração clara, distinguindo-se do material base. No entanto, através da imagem C, constata-se que esses pontos com o contorno apresentando uma coloração mais clara, deve-se a topografia da amostra, e não a degradação. De uma forma global, a amostra apresentou uma elevada quantidade de carbono, assim como algum oxigénio, sendo este último em menor quantidade. Este facto constata-se evidentemente através da análise EDS apresentados na figura 184. Contudo, Observando a figura 183, podemos também observar pequenas áreas circulares de coloração branca na imagem D, em toda a superfície da amostra, podendo possivelmente significar o início da degradação do material. Pode-se deduzir que essas pequenas áreas circulares são originadas pelos pequenos traços de coloração branca nas amostras retiradas apos três semanas de imersão, que se alastram e tomam uma forma circular.

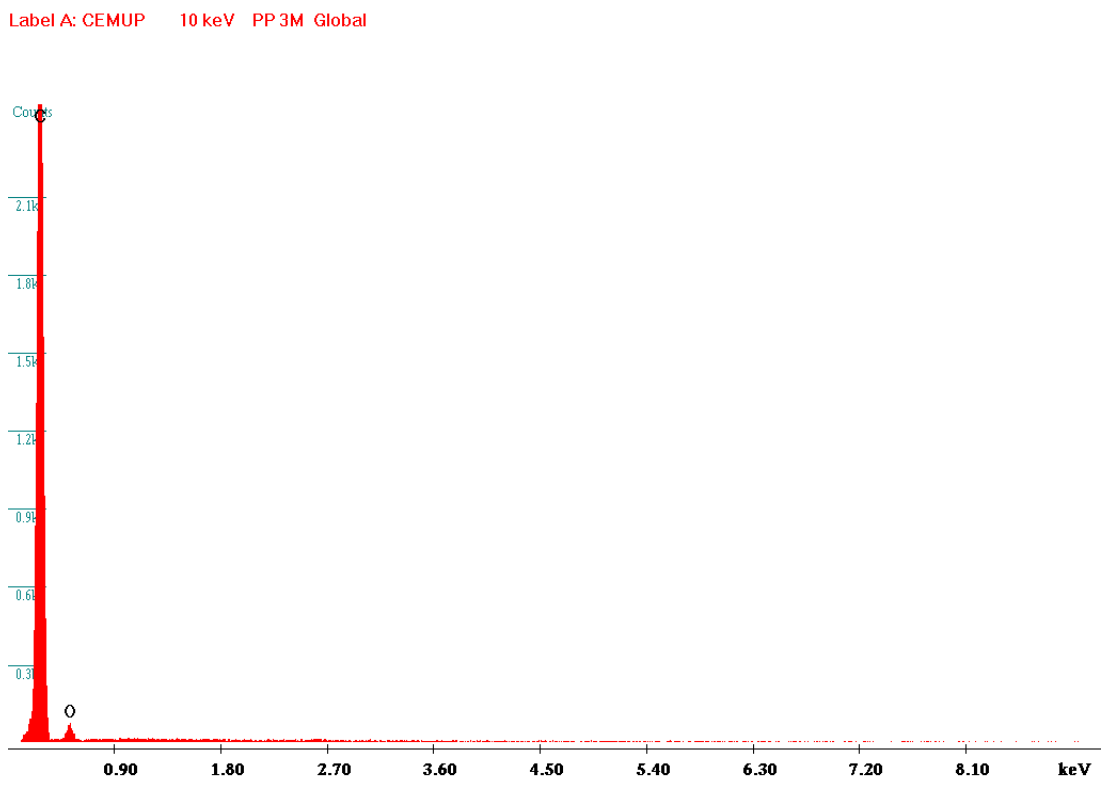


Figura 184 - Caracterização dos elementos químicos presentes num aspecto global da amostra de PP observada na figura anterior

3.8.3.5.3.7. Faia

A figura 185 representa a amostra de Faia, sem ter estado em contacto algum com a solução de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas, com diferentes aumentos. Esta figura é de extrema importância, visto que será utilizada como modelo de comparação na avaliação da amostra de Faia degradada.

Nesta figura é possível visualizar o aspecto inalterado da madeira de Faia. As imagens A, B e C da figura 185 mostram à superfície, uma estrutura de fibras de madeira aparentemente desordenada, possivelmente causado pelo esmagamento das mesmas durante o corte do material. Verifica-se igualmente a presença de alguns poros, devido a estrutura do material.

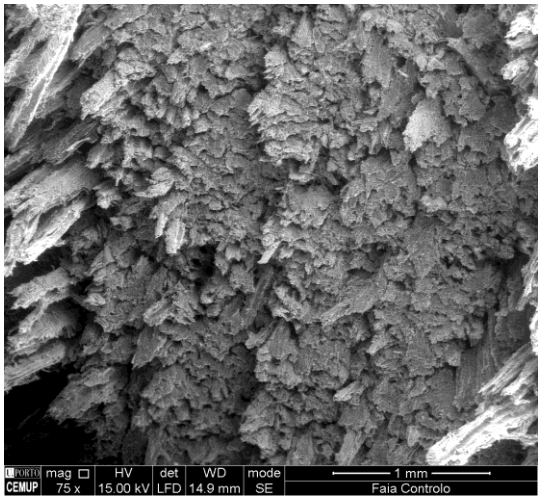
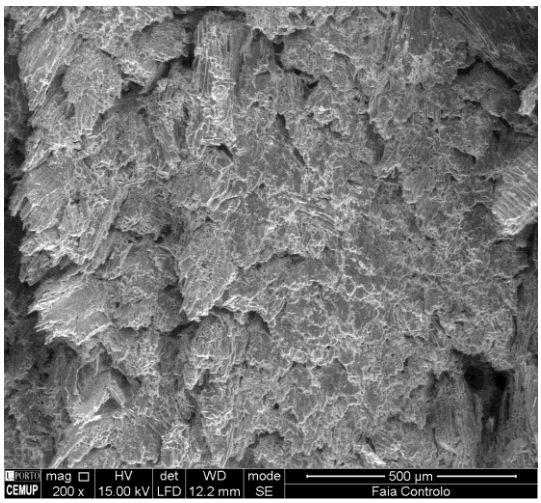
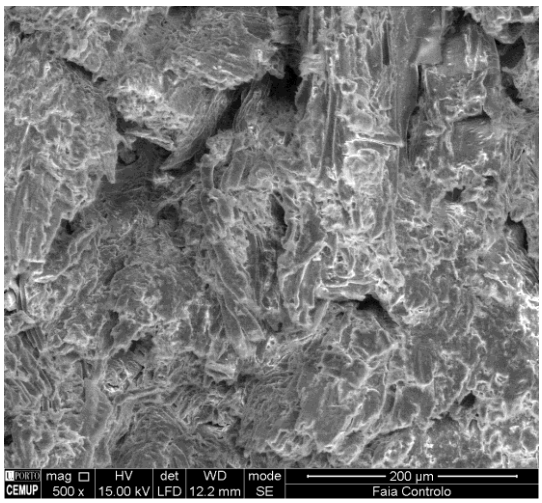
Faia (Amostra não submersa em solução de NaClO)	
A	
	
B	C
	

Figura 185 - Imagem MEV da amostra de Faia não submersa em concentração de NaClO com aumento x75 (A), x200 (B) e x500 (C)

A figura 186 representa a amostra de Faia submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

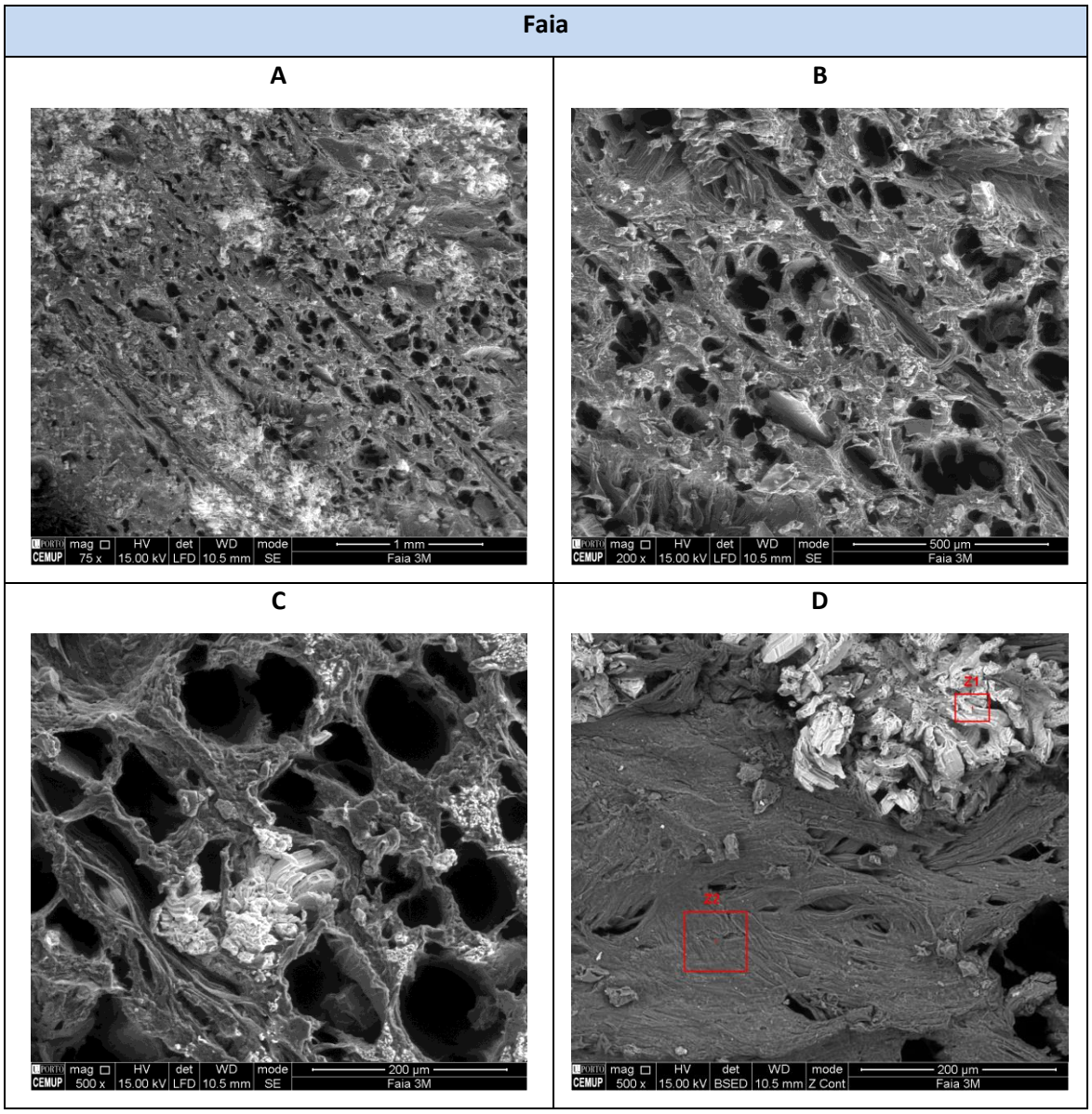
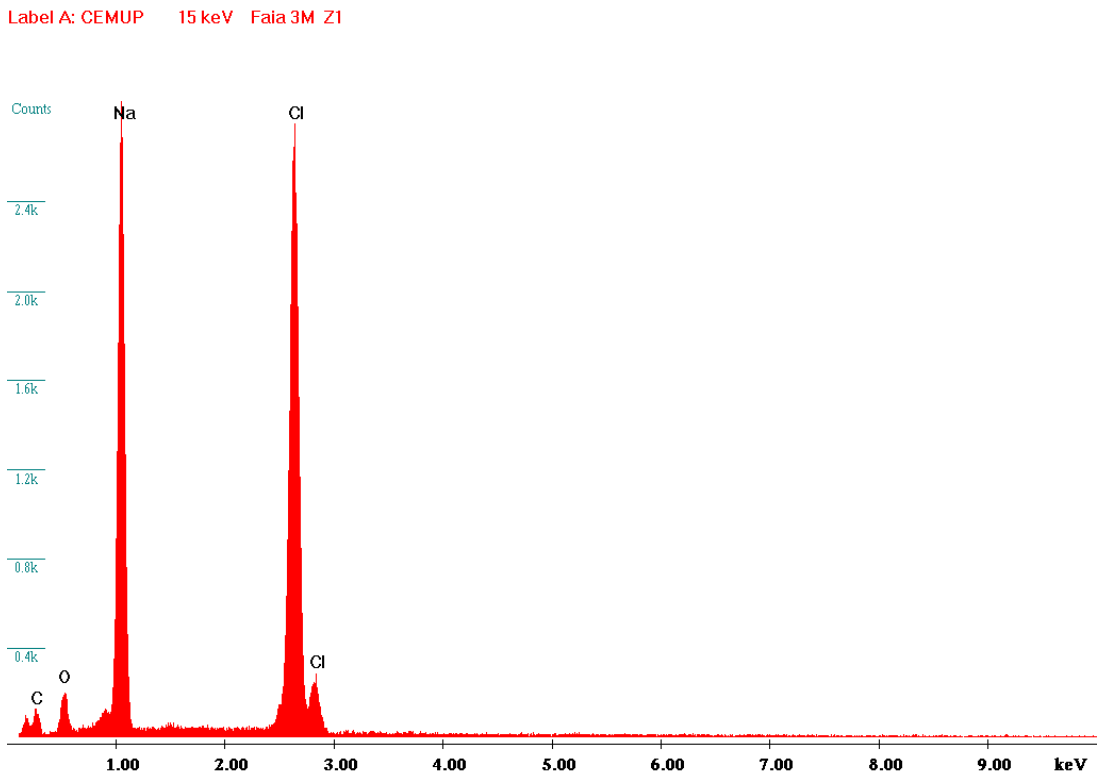


Figura 186 - Imagem MEV da amostra de Faia submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x75 (A), x200 (B) e x500 (C e D)

Analisando a figura 186, é possível observar uma elevada quantidade de áreas escuras, que correspondem à presença de poros, devido à absorção da solução por parte do material. Podemos igualmente observar zonas de coloração branca, representando a presença de sais proveniente da solução de hipoclorito de sódio após a secagem. Na primeira análise visual a olho nu efectuada à amostra, foi possível observar esses sais na superfície do material, significando que foram rejeitados do interior da madeira. A rejeição desses cristais origina a presença de furos, assim como perda de material, tornando- o mais vulnerável a possíveis ataques corrosivos, visto que o fluido terá maior contacto com o interior do material. Na imagem D, é possível observar zonas distintas da amostra, permitindo observar e comparar áreas em que a amostra sofreu ataque corrosivo por parte da solução (Z1 e Z2). Para além de

carbono e oxigénio, a zona Z1 apresentou principalmente um elevado teor de cloro e de sódio, mostrando tratar-se de um cristal de hipoclorito de sódio. A zona Z2 apresenta igualmente carbono e oxigénio, com um teor mais elevado quando comparado á zona Z1. No entanto, apesar da zona Z2 não apresentar uma coloração branca significando a presença de hipoclorito de sódio, foi igualmente detectada a presença de cloro e de sódio. Na imagem C, foi realizado o aumento de uma área com aparência semelhante à zona Z2, na qual se pode verificar a presença de um cristal de hipoclorito de sódio embutido nas fibras de madeira, causando o aumento dos referidos poros após a sua libertação. Alguns desses sais fixados à fibra do material são de difícil libertação, apontando então para um processo contínuo de degradação, mesmo após uma limpeza rigorosa do material. A presença de cálcio e alumínio na zona Z2, correspondem a contaminações retidas na superfície da amostra, provavelmente provocadas durante a preparação e/ou armazenamento da amostra. Estes factos constatam-se evidentemente através da análise E.D.S. apresentados nas imagens A e B da figura 187. Comparando as imagens da figura 186 com as imagens da figura 185, podemos verificar uma diferença evidente do estado da material, no qual se pode verificar um claro aumento do diâmetro dos poros, assim como a destruição das fibras.

A



B

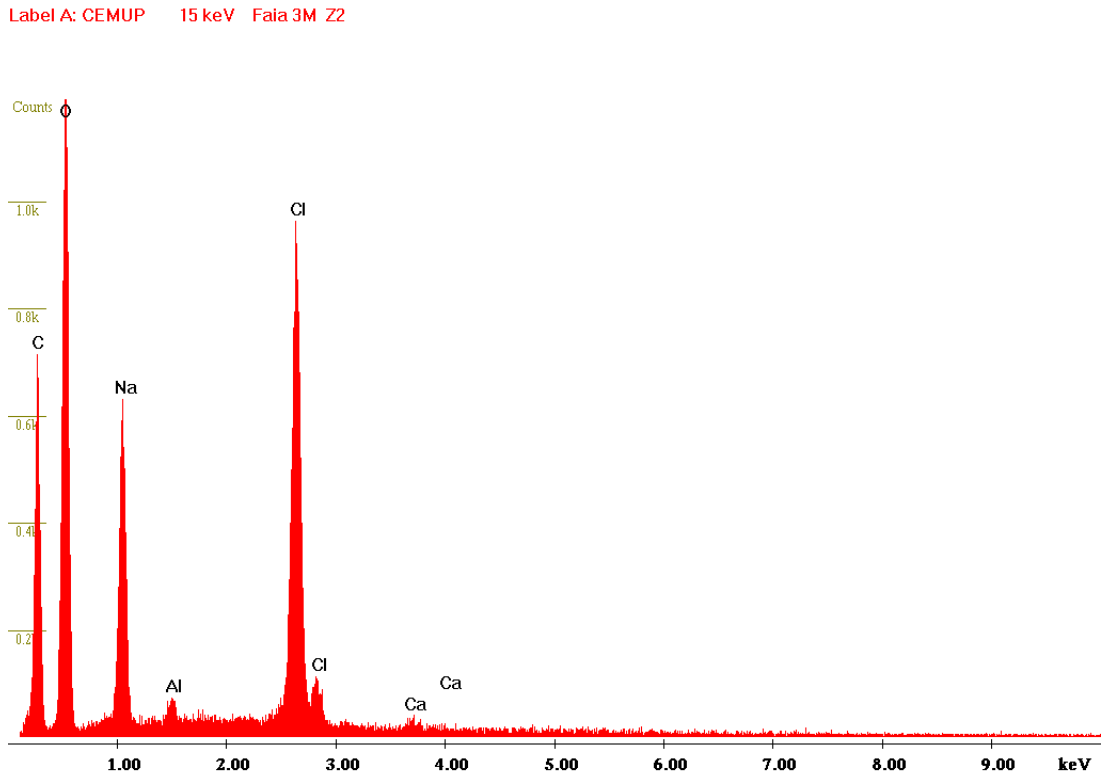


Figura 187 - Caracterização dos elementos químicos presentes na Zona Z1 (A) e Z2 (B) da amostra de Faia observada na figura anterior

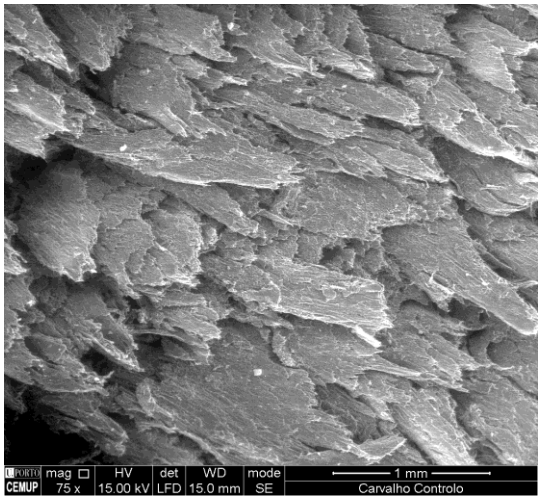
3.8.3.5.3.8. Carvalho

A figura 188 representa a amostra de Carvalho, sem ter estado em contacto algum com a solução de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas da mesma com diferentes aumentos. Esta figura é de extrema importância, visto que será utilizada como modelo de comparação na avaliação da amostra de Carvalho degradada.

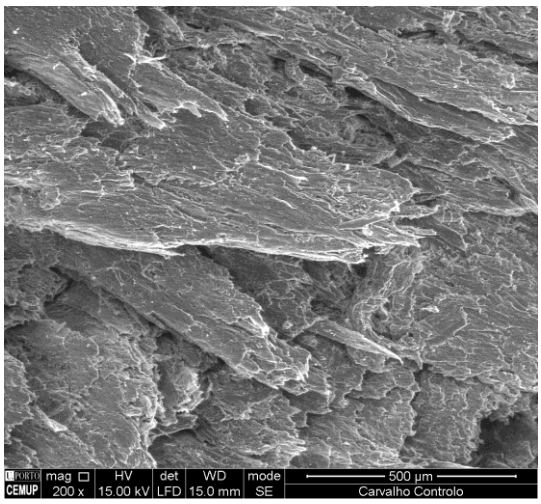
Nesta figura é possível visualizar o aspecto inalterado da madeira de Carvalho. As imagens A, B e C da figura 188, mostram uma estrutura ordenada das fibras de madeira. No entanto, verifica-se um aspecto de esmagamento da superfície da amostra, podendo ter sido causado pelo corte do material, durante a sua preparação.

Carvalho (Amostra não submersa em solução de NaClO)

A



B



C

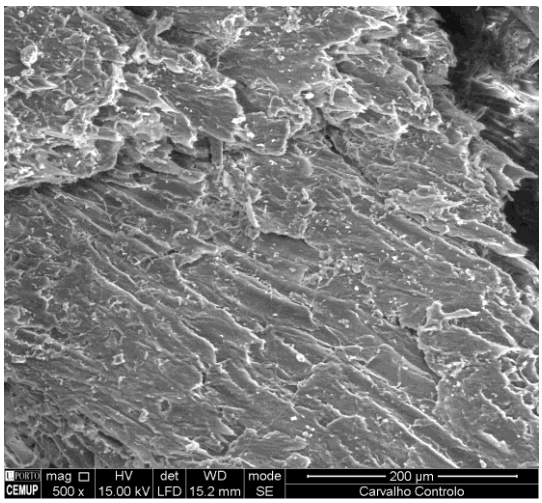


Figura 188 - Imagem MEV da amostra de Carvalho não submersa em concentração de NaClO com aumento x75 (A), x200 (B) e x500 (C)

A figura 189 representa a amostra de Faia submersa na concentração de 100% de hipoclorito de sódio, sendo possível visualizar diversas áreas expostas à solução, com diferentes aumentos.

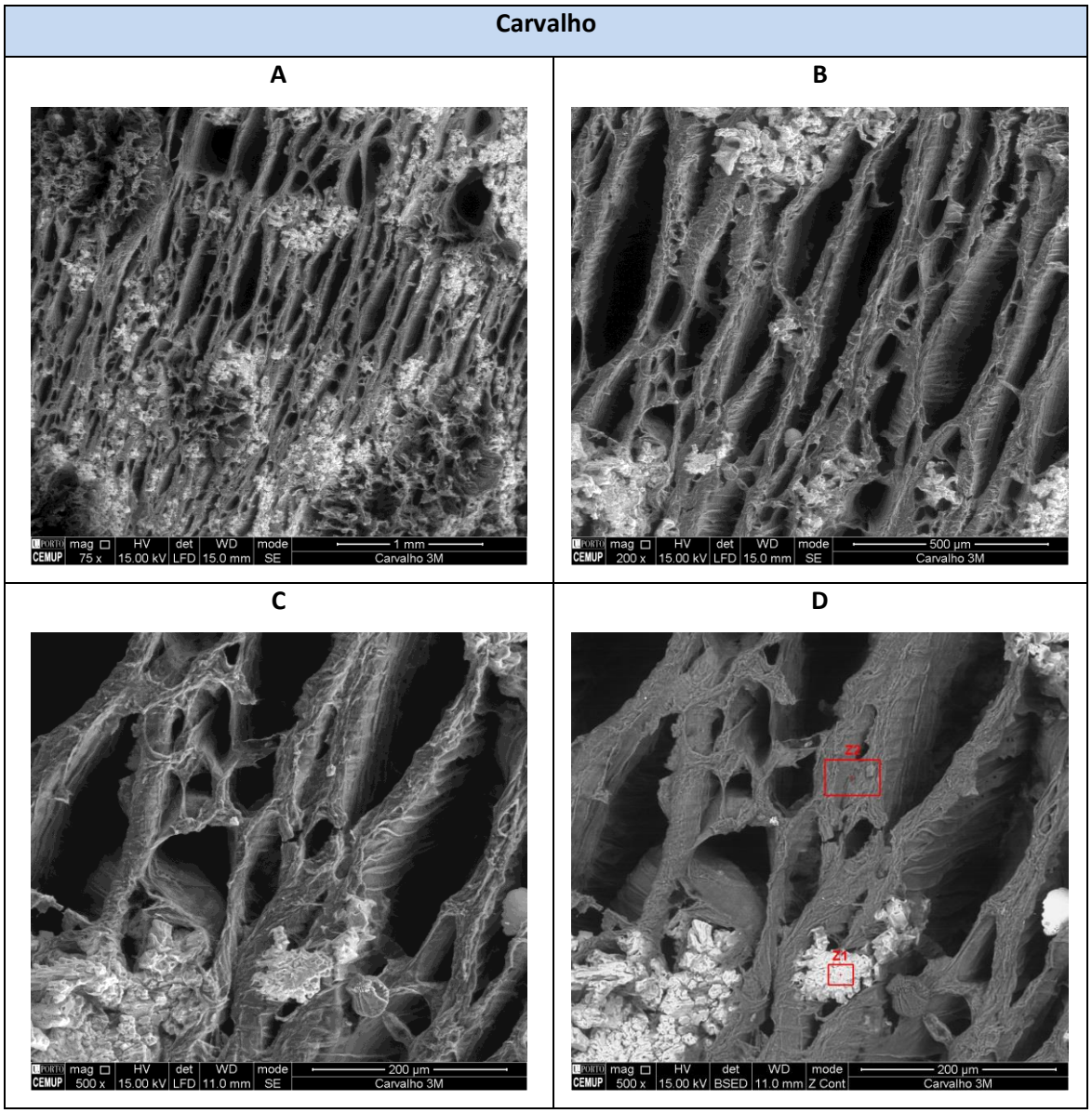
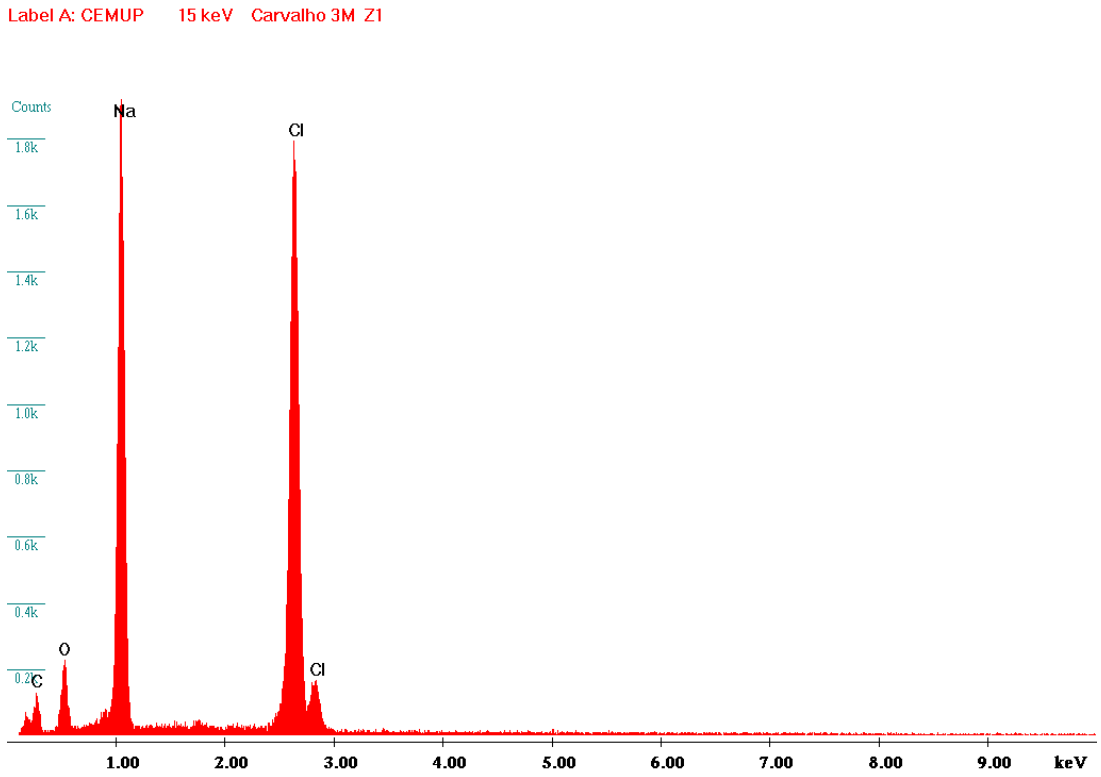


Figura 189 - Imagem MEV da amostra de Carvalho submersa numa concentração de 100% de NaClO com aumento x75 (A), x200 (B) e x500 (C e D)

Analisando a figura 189, é possível observar uma elevada quantidade de zonas escuras, que correspondem à presença de poros, devido à absorção da solução por parte do material. Podemos igualmente observar zonas de coloração branca, representando a presença de sais proveniente da solução de hipoclorito de sódio após a secagem. Na primeira análise visual a olho nu efectuada à amostra, foi possível observar esses sais na superfície do material, significando que foram rejeitados do interior da madeira. A rejeição desses cristais origina a presença de furos e perda de material, tornando o material mais vulnerável a possíveis ataques corrosivos, visto que o fluido terá maior contacto com o interior do material. Na imagem D, é possível observar zonas distintas da amostra, permitindo observar e comparar

áreas em que a amostra sofreu ataque corrosivo por parte da solução (Z1 e Z2). Para além de carbono e oxigénio, a zona Z1 apresentou principalmente um elevado teor de cloro e de sódio, mostrando tratar-se de um cristal de hipoclorito de sódio. A zona Z2 apresenta igualmente carbono e oxigénio, com um teor mais elevado quando comparado á zona Z1. No entanto, apesar da zona Z2 não apresentar uma coloração branca, significando a presença de hipoclorito de sódio, foi igualmente detectada a presença de cloro e de sódio, assim como silício, sendo este último devido a contaminação. Na imagem C, pode-se verificar mais detalhadamente a topografia das zonas Z1 e Z2. A presença de sais fixados á fibra do material podem ser de difícil remoção, apontando então para um futuro processo de degradação, mesmo após uma limpeza rigorosa do material. Estes factos constatam-se evidentemente através da análise E.D.S., apresentados nas imagens A e B da figura 190. Comparando as imagens da figura 189 com as imagens da figura 188, podemos verificar uma diferença evidente do estado da material, no qual se pode verificar um claro aumento do diâmetro dos poros, assim como a destruição das fibras.

A



B

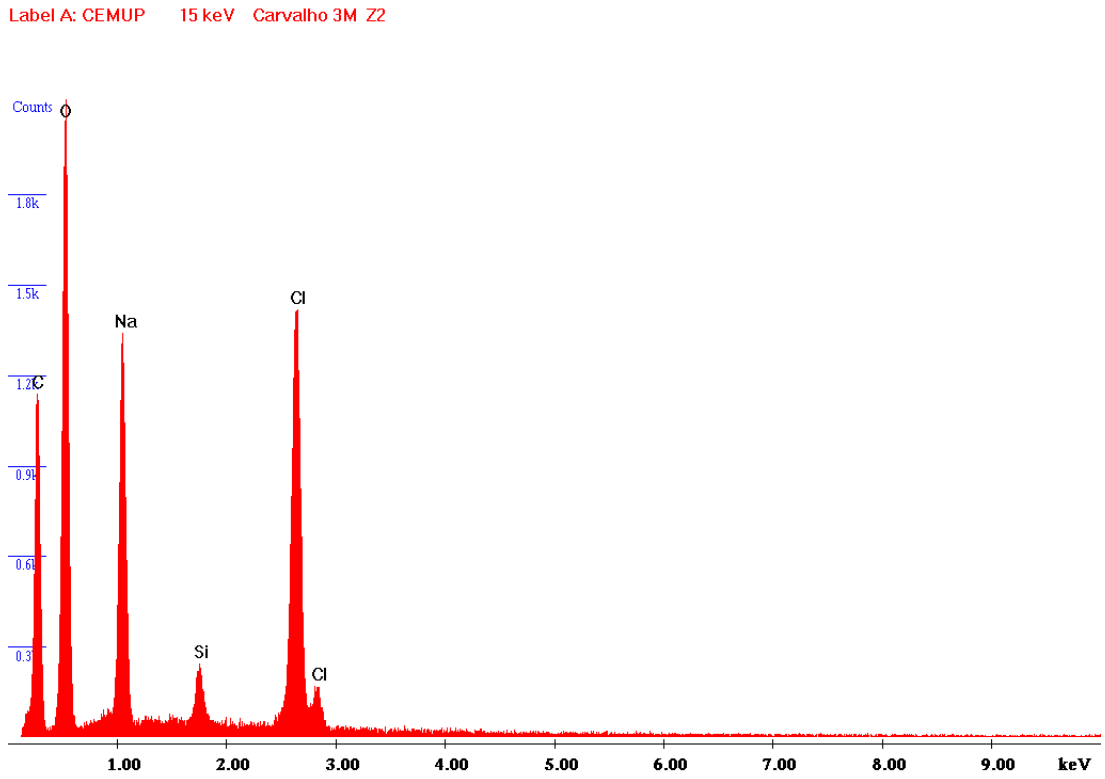


Figura 190 - Caracterização dos elementos químicos presentes na Zona Z1 (A) e Z2 (B) da amostra de Carvalho observada na figura anterior

3.8.3.5.4. Resultados obtidos por análise de espectrometria

Nesta fase do estudo, considerou-se uma primeira amostra de cada material, que não teve contacto algum com NaClO, na qual já se conhecia a composição química, visto ter sido analisada anteriormente através da mesma metodologia (amostra padrão), uma segunda amostra, na qual já eram igualmente conhecido os resultados da análise química (amostra retirada após três semanas de imersão), e uma terceira amostra de cada material como desconhecida (amostra submersa 3 meses em NaClO). Após a obtenção de resultados da análise das duas amostras, comparou-se a composição química da amostra considerada desconhecida com a composição química da amostra considerada normal (amostra padrão), e da amostra submersa três semanas em NaClO, a qual já foi analisada anteriormente. Importa referir que se trata de valores médios, resultado de várias análises em zonas distintas da amostra, possibilitando uma análise geral, de toda a superfície da amostra.

Aço inoxidável 316L

A tabela 52, abaixo representada, mostra o resultado médio das análises realizadas à composição química do aço inoxidável 316L, sendo referentes à amostra padrão, à amostra submersa num período de tempo de três semanas, à amostra submersa num período de tempo de três meses, em solução de 100% de NaClO.

Tabela 52 - Comparação quantitativa dos valores médios de elementos químicos entre a amostra padrão de aço inoxidável 316L, a amostra de aço inoxidável 316L submersa em 5% NaClO, e a amostra de aço inoxidável 316L submersa em 100% NaClO, após três meses de imersão

Aço inoxidável 316L (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
amostra padrão	0.0216	0.374	1.351	0.0339	<0.0006	16.959	10.308	2.042	0.0273
3 semanas	0.0287	0.362	1.316	0.0294	0.0014	16.983	10.266	1.999	0.0279
3 meses	0.0258	0.369	1.317	0.0292	0.0010	17.030	10.327	2.017	0.0282
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
amostra padrão	0.5523	0.0334	0.0023	0.0128	0.0125	0.0507	0.0616	0.2869	67.87
3 semanas	0.5346	0.0809	0.0012	0.0126	0.0089	0.0446	0.0607	0.2801	67.96
3 meses	0.5450	0.0597	0.0012	0.0127	0.0084	0.0455	0.0615	0.2930	67.83

Observando e comparando os três resultados obtidos, podemos observar que alguns elementos químicos apresentaram valores mais elevados, e pelo contrário, alguns apresentaram teores mais baixos. Na tabela 53, é possível verificar e distinguir os elementos que sofreram um aumento de concentração, assim como os elementos que sofreram uma diminuição da mesma.

Tabela 53 - Intensidade de variação do teor químico presente nos elementos da amostra de aço inoxidável 316L após três meses de imersão

Aço inoxidável 316L			
Aumento de concentração comparado com a amostra padrão	Diminuição de concentração comparado com a amostra padrão	Aumento de concentração comparado com a amostra submersa 3 semanas	Diminuição de concentração comparado com a amostra submersa 3 semanas
Carbono (C)	Silício (Si)	Silício (Si)	Carbono (C)
Enxofre (S)	Manganês (Mn)	Manganês (Mn)	Fosforo (P)
Cromo (Cr)	Fosforo (P)	Cromo (Cr)	Enxofre (S)
Níquel (Ni)	Molibdénio (Mo)	Níquel (Ni)	Nitrogénio (N)
Nióbio (Nb)	Cobre (Cu)	Molibdénio (Mo)	Estanho (Sn)
Nitrogénio (N)	Alumínio (Al)	Nióbio (Nb)	Ferro (Fe)
Cobalto (Co)	Titânio (Ti)	Cobre (Cu)	
	Estanho (Sn)	Titânio (Ti)	
	Tungsténio (W)	Tungsténio (W)	
	Vanádio (V)	Vanádio (V)	
	Ferro (Fe)	Cobalto (Co)	
Sem variação de concentração comparado com a Amostra padrão		Sem variação de concentração comparado com a amostra submersa 3 semanas	
		Alumínio (Al)	

Nesta análise, podemos verificar que a variação química que ocorreu nesta amostra, apresentou resultados distintos, quando comparada com a amostra padrão, e com a amostra submersa num período de tempo de três semanas. Foi possível verificar, que alguns elementos aumentaram a sua concentração, quando comparado com a amostra padrão, sendo no entanto mais baixos quando comparado com a amostra padrão, e vice-versa.

Comparando a amostra de aço inoxidável 316L retirada após três meses de imersão, com a amostra padrão, é possível observar elementos químicos em que a variação foi bastante significativa, e outros menos. No entanto, não quer dizer que o facto de a variação de alguns elementos ser superiores a outros, implique menor resistência à corrosão por parte do material, visto que cada elemento desempenha a sua respectiva função, e que nem todos têm como função de proteger o material. Com uma variação significativa, ou seja, acima dos 10%, apresentam-se os elementos como o carbono (C), fosforo (P), enxofre (S), nitrogénio (N), alumínio (Al), estanho (Sn) e o tungsténio (W). Com uma variação menos considerável, ou seja, entre 1% e 10%, observa-se o silício (Si), manganês (Mn), molibdénio (Mo), Nióbio (Nb), cobre

(Cu) e o Cobalto (Co). Outros elementos apresentaram variações baixas, ou seja, abaixo de 1%, sendo de referir o cromo (Cr), níquel (Ni), titânio (Ti), Vanádio (V) e o ferro (Fe). Estes valores podem ser comprovados mais detalhadamente através da tabela 54.

Comparando a amostra submersa três meses em solução de NaClO com a amostra submersa três semanas, pode-se verificar que a variação dos elementos químicos apresentou, de uma forma geral, valores mais baixos, quando comparado à variação ocorrida entre a amostra retirada após três meses de imersão e a amostra padrão. Este facto já era esperado, visto que a amostra submersa três semanas em NaClO já tinha igualmente sofrido ataque, ao contrário da amostra padrão.

Comparando a amostra de aço inoxidável 316L retirada após três meses de imersão, com a amostra retirada após três semanas de imersão, é também possível observar elementos químicos em que a variação foi bastante significativa, e outros menos. No entanto, não quer dizer que o facto de a variação de alguns elementos ser superiores a outros, implique menor resistência à corrosão por parte do material, visto que cada elemento desempenha a sua respectiva função, e que nem todos têm como função de proteger o material. Com uma variação significativa, ou seja, acima dos 10%, apresentam-se os elementos como o carbono (C), enxofre (S) e o nitrogénio (N). Com uma variação menos considerável, ou seja, entre 1% e 10%, observa-se o silício (Si), Nióbio (Nb), cobre (Cu), estanho (Sn), tungsténio (W), Vanádio (V) e o Cobalto (Co). Outros elementos apresentaram variações baixas, ou seja, abaixo de 1%, sendo de referir o manganês (Mn), fosforo (P), cromo (Cr), níquel (Ni), molibdénio (Mo), titânio (Ti), e o ferro (Fe). Estes valores podem ser comprovados mais detalhadamente através da tabela abaixo apresentada.

Nesta análise, pode-se destacar o facto do alumínio (Al), não ter sofrido nenhuma variação entre a amostra submersa três meses e a amostra submersa três semanas, em solução de NaClO

Tabela 54 - tabela representativa da variação química de cada elemento presente na amostra de aço inoxidável 316L após três meses de imersão

Aço inoxidável 316L (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
Comparação com a amostra padrão	19,4%	-1,3%	-2,5%	-13,9%	66,7%	0,4%	0,2%	-1,2%	3,3%
Comparação com a amostra submersa 3 semanas	-10,1%	1,9%	0,1%	-0,7%	-28,6%	0,3%	0,6%	0,9%	1,1%
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
Comparação com a amostra padrão	-1,3%	78,7%	-47,8%	-0,8%	-32,8%	-10,3%	-0,2%	2,1%	-0,1%
Comparação com a amostra submersa 3 semanas	1,9%	-26,2%	0,0%	0,8%	-5,6%	2,0%	1,3%	4,6%	-0,2%

Aço inoxidável 321

A tabela 55, abaixo representada, mostra o resultado médio das análises realizadas à composição química do aço inoxidável 321, sendo referentes à amostra padrão, à amostra submersa num período de tempo de três semanas, à amostra submersa num período de tempo de três meses, em solução de 100% de NaClO.

Tabela 55 - Comparação quantitativa dos valores médios de elementos químicos entre a amostra padrão de aço inoxidável 321, a amostra de aço inoxidável 321 submersa em 5% NaClO, e a amostra de aço inoxidável 321 submersa em 100% NaClO, após três meses de imersão

Aço inoxidável 321 (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
amostra padrão	0.0509	0.534	0.829	0.0396	<0.0006	17.039	9.480	0.225	0.0081
5% NaClO	0.0708	0.526	0.798	0.0380	0.0015	17.110	9.548	0.221	0.0046
100% NaClO	0.0727	0.531	0.799	0.0371	0.0015	17.137	9.603	0.220	0.0051
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
amostra padrão	0.2987	<0.0010	0.0148	0.3499	0.0061	0.0394	0.0706	0.1155	70.90
5% NaClO	0.2908	0.0161	0.0157	0.3424	0.0033	0.0329	0.0684	0.1084	70.81
100% NaClO	0.2985	0.0169	0.0141	0.3430	0.0036	0.0350	0.0683	0.1129	70.70

Observando e comparando os três resultados obtidos, podemos observar que alguns elementos químicos apresentaram valores mais elevados, e pelo contrário, alguns apresentaram teores mais baixos. Na tabela 56, é possível verificar e distinguir os elementos que sofreram um aumento de concentração, assim como os elementos que sofreram uma diminuição da mesma.

Tabela 56 - Intensidade de variação do teor químico presente nos elementos da amostra de aço inoxidável 321 após três meses de imersão

Aço inoxidável 321			
Aumento de concentração comparado com a amostra padrão	Diminuição de concentração comparado com a amostra padrão	Aumento de concentração comparado com a amostra submersa 3 semanas	Diminuição de concentração comparado com a amostra submersa 3 semanas
Carbono (C)	Silício (Si)	Carbono (C)	Fosforo (P)
Enxofre (S)	Manganês (Mn)	Silício (Si)	Molibdénio (Mo)
Cromo (Cr)	Fosforo (P)	Manganês (Mn)	Alumínio (Al)
Níquel (Ni)	Molibdénio (Mo)	Cromo (Cr)	Vanádio (V)
Nitrogénio (N)	Nióbio (Nb)	Níquel (Ni)	Ferro (Fe)
	Cobre (Cu)	Nióbio (Nb)	
	Alumínio (Al)	Cobre (Cu)	
	Titânio (Ti)	Nitrogénio (N)	
	Estanho (Sn)	Titânio (Ti)	
	Tungsténio (W)	Estanho (Sn)	
	Vanádio (V)	Tungsténio (W)	
	Cobalto (Co)	Cobalto (Co)	
	Ferro (Fe)		
Sem variação de concentração comparado com a Amostra padrão		Sem variação de concentração comparado com a amostra submersa 3 semanas	
		Enxofre (S)	

Nesta análise, podemos verificar que a variação química que ocorreu nesta amostra, apresentou resultados distintos, quando comparada com a amostra padrão, e com a amostra submersa num período de tempo de três semanas. Foi possível verificar, que alguns elementos aumentaram a sua concentração, quando comparado com a amostra padrão, sendo no entanto mais baixos quando comparado com a amostra padrão, e vice-versa.

Comparando a amostra de aço inoxidável 321 retirada após três meses de imersão, com a amostra padrão, é possível observar elementos químicos em que a variação foi bastante significativa, e outros menos. No entanto, não quer dizer que o facto de a variação de alguns elementos ser superiores a outros, implique menor resistência à corrosão por parte do material, visto que cada elemento desempenha a sua respectiva função, e que nem todos têm

como função de proteger o material. Com uma variação significativa, ou seja, acima dos 10%, apresentam-se os elementos como o carbono (C), enxofre (S), Nióbio (Nb), nitrogénio (N), estanho (Sn) e o tungsténio (W). Com uma variação menos considerável, ou seja, entre 1% e 10%, observa-se o manganês (Mn), fosforo (P), níquel (Ni), molibdénio (Mo), alumínio (Al), titânio (Ti), Vanádio (V) e o Cobalto (Co). Outros elementos apresentaram variações baixas, ou seja, abaixo de 1%, sendo de referir o silício (Si), cromo (Cr), cobre (Cu), e o ferro (Fe). Estes valores podem ser comprovados mais detalhadamente através da tabela abaixo apresentada.

Comparando a amostra submersa três meses em solução de NaClO com a amostra submersa três semanas, pode-se verificar que a variação dos elementos químicos apresentou, de uma forma geral, valores mais baixos, quando comparado à variação ocorrida entre a amostra retirada após três meses de imersão e a amostra padrão. Este facto já era esperado, visto que a amostra submersa três semanas em NaClO já tinha igualmente sofrido ataque, ao contrário da amostra padrão.

Comparando a amostra de aço inoxidável 321 retirada após três meses de imersão, com a amostra retirada após três semanas de imersão, é também possível observar elementos químicos em que a variação foi bastante significativa, e outros menos. No entanto, não quer dizer que o facto de a variação de alguns elementos ser superiores a outros, implique menor resistência à corrosão por parte do material, visto que cada elemento desempenha a sua respectiva função, e que nem todos têm como função de proteger o material. Com uma variação significativa, ou seja, acima dos 10%, apresentam-se os elementos como Nióbio (Nb) e do alumínio (Al). Com uma variação menos considerável, ou seja, entre 1% e 10%, observa-se o carbono (C), silício (Si), fosforo (P), cobre (Cu), nitrogénio (N), estanho (Sn), tungsténio (W) e o Cobalto (Co). Outros elementos apresentaram variações baixas, ou seja, abaixo de 1%, sendo de referir o manganês (Mn), cromo (Cr), níquel (Ni), molibdénio (Mo), titânio (Ti), Vanádio (V), e o ferro (Fe). Estes valores podem ser comprovados mais detalhadamente através da tabela 57.

Nesta análise, pode-se destacar o facto do enxofre (S), não ter sofrido nenhuma variação entre a amostra submersa três meses e a amostra submersa três semanas, em solução de NaClO.

Tabela 57 - tabela representativa da variação química de cada elemento presente na amostra de aço inoxidável 321 após três meses de imersão

Variação do teor de aço inoxidável 321 (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
Comparação com a amostra padrão	42,8%	-0,6%	-3,6%	-6,3%	150,0%	0,6%	1,3%	-2,2%	-37,0%
Comparação com a amostra submersa 3 semanas	2,7%	1,0%	0,1%	-2,4%	0,0%	0,2%	0,6%	-0,5%	10,9%
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
Comparação com a amostra padrão	-0,1%	1590,0%	-4,7%	-2,0%	-41,0%	-11,2%	-3,3%	-2,3%	-0,3%
Comparação com a amostra submersa 3 semanas	2,6%	5,0%	-10,2%	0,2%	9,1%	6,4%	-0,1%	4,2%	-0,2%

Duplex 14462

A tabela 58, abaixo representada, mostra o resultado médio das análises realizadas à composição química do Duplex 14462, sendo referentes à amostra padrão, à amostra submersa num período de tempo de três semanas, à amostra submersa num período de tempo de três meses, em solução de 100% de NaClO.

Tabela 58 - Comparação quantitativa dos valores médios de elementos químicos entre a amostra padrão de Duplex 14462, a amostra de Duplex 14462 submersa em 5% NaClO, e a amostra de Duplex 14462 submersa em 100% NaClO, após três meses de imersão

Duplex 14462 (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
amostra padrão	0.0167	0.440	1.429	0.0255	<0.0006	22.211	5.771	3.097	0.0101
5% NaClO	0.0356	0.434	1.357	0.0237	0.0010	22.045	5.935	3.091	0.0082
100% NaClO	0.0290	0.408	1.274	0.0213	<0.0006	21.578	5.865	3.069	0.0076
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
amostra padrão	0.2100	0.2450	0.0050	0.0069	0.0041	0.0378	0.0638	0.0979	66.33
5% NaClO	0.2018	0.2545	0.0046	0.0073	<0.0010	0.0311	0.0638	0.0929	66.41
100% NaClO	0.1733	0.3441	0.0052	0.0139	<0.0010	0.0145	0.0585	0.0801	67.06

Observando e comparando os três resultados obtidos, podemos observar que alguns elementos químicos apresentaram valores mais elevados, e pelo contrário, alguns apresentaram teores mais baixos. Na tabela 59, é possível verificar e distinguir os elementos que sofreram um aumento de concentração, assim como os elementos que sofreram uma diminuição da mesma.

Tabela 59 - Intensidade de variação do teor químico presente nos elementos da amostra de Duplex 14462 após três meses de imersão

Duplex 14462			
Aumento de concentração comparado com a amostra padrão	Diminuição de concentração comparado com a amostra padrão	Aumento de concentração comparado com a amostra submersa 3 semanas	Diminuição de concentração comparado com a amostra submersa 3 semanas
Carbono (C)	Silício (Si)	Nitrogénio (N)	Carbono (C)
Níquel (Ni)	Manganês (Mn)	Alumínio (Al)	Silício (Si)
Nitrogénio (N)	Fosforo (P)	Titânio (Ti)	Manganês (Mn)
Alumínio (Al)	Cromo (Cr)	Ferro (Fe)	Fosforo (P)
Titânio (Ti)	Molibdénio (Mo)		Enxofre (S)
Ferro (Fe)	Nióbio (Nb)		Cromo (Cr)
	Cobre (Cu)		Níquel (Ni)
	Estanho (Sn)		Molibdénio (Mo)
	Tungsténio (W)		Nióbio (Nb)
	Vanádio (V)		Cobre (Cu)
	Cobalto (Co)		Tungsténio (W)
			Vanádio (V)
			Cobalto (Co)
Sem variação de concentração comparado com a Amostra padrão		Sem variação de concentração comparado com a amostra submersa 3 semanas	
Enxofre (S)		Estanho (Sn)	

Nesta análise, podemos verificar que a variação química que ocorreu nesta amostra, apresentou resultados distintos, quando comparada com a amostra padrão, e com a amostra submersa num período de tempo de três semanas. Foi possível verificar, que alguns elementos aumentaram a sua concentração, quando comparado com a amostra padrão, sendo no entanto mais baixos quando comparado com a amostra padrão, e vice-versa.

Comparando a amostra de Duplex 14462 retirada após três meses de imersão, com a amostra padrão, é possível observar elementos químicos em que a variação foi bastante significativa, e outros menos. No entanto, não quer dizer que o facto de a variação de alguns elementos ser superiores a outros, implique menor resistência à corrosão por parte do material, visto que cada elemento desempenha a sua respectiva função, e que nem todos têm como função de

proteger o material. Com uma variação significativa, ou seja, acima dos 10%, apresentam-se os elementos como o carbono (C), manganês (Mn), fosforo (P), Nióbio (Nb), cobre (Cu), nitrogénio (N), titânio (Ti), estanho (Sn), tungsténio (W) e o Cobalto (Co). Com uma variação menos considerável, ou seja, entre 1% e 10%, observa-se o silício (Si), cromo (Cr), níquel (Ni), alumínio (Al), Vanádio (V) e o ferro (Fe). Outros elementos apresentaram variações baixas, ou seja, abaixo de 1%, sendo de referir apenas o molibdénio (Mo). Estes valores podem ser comprovados mais detalhadamente através da tabela 60.

Nesta análise, pode-se destacar o facto do enxofre (S), não ter sofrido nenhuma variação entre a amostra submersa três meses e a amostra submersa três semanas, em solução de NaClO

Comparando a amostra submersa três meses em solução de NaClO com a amostra submersa três semanas, pode-se verificar que a variação dos elementos químicos apresentou, de uma forma geral, valores mais baixos, quando comparado à variação ocorrida entre a amostra retirada após três meses de imersão e a amostra padrão. Este facto já era esperado, visto que a amostra submersa três semanas em NaClO já tinha igualmente sofrido ataque, ao contrário da amostra padrão.

Comparando a amostra de Duplex 14462retirada após três meses de imersão, com a amostra retirada após três semanas de imersão, é também possível observar elementos químicos em que a variação foi bastante significativa, e outros menos. No entanto, não quer dizer que o facto de a variação de alguns elementos ser superiores a outros, implique menor resistência à corrosão por parte do material, visto que cada elemento desempenha a sua respectiva função, e que nem todos têm como função de proteger o material. Com uma variação significativa, ou seja, acima dos 10%, apresentam-se os elementos como o carbono (C), fosforo (P), enxofre (S), cobre (Cu), nitrogénio (N), alumínio (Al), titânio (Ti), tungsténio (W) e o Cobalto (Co). Com uma variação menos considerável, ou seja, entre 1% e 10%, observa-se o silício (Si), manganês (Mn), cromo (Cr), níquel (Ni), Nióbio (Nb), Vanádio (V) e o ferro (Fe). Outros elementos apresentaram variações baixas, ou seja, abaixo de 1%, sendo de referir apenas o molibdénio (Mo). Estes valores podem ser comprovados mais detalhadamente através da tabela abaixo apresentada.

Nesta análise, pode-se destacar o facto do estanho (Sn), não ter sofrido nenhuma variação entre a amostra submersa três meses e a amostra submersa três semanas, em solução de NaClO

Tabela 60 - tabela representativa da variação química de cada elemento presente na amostra de Duplex 14462 após três meses de imersão

Variação do teor de Duplex 14462 (%)									
amostra	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Nb**
Comparação com a amostra padrão	73,7%	-7,3%	-10,8%	-16,5%	0,0%	-2,8%	1,6%	-0,9%	-24,8%
Comparação com a amostra submersa 3 semanas	-18,5%	-6,0%	-6,1%	-10,1%	-40,0%	-2,1%	-1,2%	-0,7%	-7,3%
amostra	**Cu**	**N**	**Al**	**Ti**	**Sn**	**W**	**V**	**Co**	**Fe**
Comparação com a amostra padrão	-17,5%	40,4%	4,0%	101,4%	-75,6%	-61,6%	-8,3%	-18,2%	1,1%
Comparação com a amostra submersa 3 semanas	-14,1%	35,2%	13,0%	90,4%	0,0%	-53,4%	-8,3%	-13,8%	1,0%

De uma forma geral, comparando as três amostras submersas num período de tempo de três meses com as respectivas amostras padrão, foi possível observar que os elementos químicos sofreram uma elevada dispersão de variação, quando comparado com as amostras retiradas após três semanas de imersão. Nesta análise, verificou-se que o carbono, nitrogénio e enxofre, sofreram uma variação superior a 10%. O manganês sofreu uma variação média, entre 1% e 10%. Estes resultados foram verificados simultaneamente em ambas as amostras. Dos elementos mais influentes, no que diz respeito à corrosão de um material, é o cromo e o ferro. Nestas análises, verificou-se que estes dois elementos apresentaram uma variação inferior a 1% nos aços inoxidáveis 316L e 321, enquanto no Duplex 14462, a variação deste elemento foi mais elevada, entre 1% e 10%. O níquel é igualmente um elemento importante, no que diz respeito à resistência à corrosão dos materiais. Nos resultados obtidos, verificou-se uma variação abaixo de 1% nos aços inoxidáveis 316L, como se verificou na amostra retirada após três semanas de imersão, enquanto se verificou uma variação média, entre 1% e 10% no aço inoxidável 321 e no Duplex 14462. O molibdénio é um dos elementos mais importante, no que diz respeito à resistência à corrosão dos materiais. Nos resultados obtidos, verificou-se um

comportamento semelhante às amostras retiradas após três semanas de imersão, sendo uma variação abaixo de 1% no Duplex 14462, enquanto se verificou uma variação média, entre 1% e 10% no aço inoxidável 316L e 321. No silício, também se verificou um comportamento semelhante aos anteriormente referidos, verificando-se uma variação muito abaixo de 1%, no aço inoxidável 321, e uma variação média, entre 1% e 10% no aço inoxidável 316L, e no Duplex 14462, sendo de referir que, mais uma vez, o Duplex manteve o comportamento no que diz respeito à variação, quando comparado com a amostra retirada após três semanas de imersão. O titânio mostrou variações distintas em todas as amostras, verificando-se uma variação acima de 10% no Duplex 14462, entre 1% e 10% no aço inoxidável 321 e abaixo de 1% no aço inoxidável 316L. Importa no entanto referir que o teor inicial de titânio é significativamente superior no aço inoxidável 321, quando comparado com as restantes amostras.

3.8.3.5.5. Resultados obtidos em ensaio de tracção

Neste trabalho, foram realizados ensaios experimentais de tracção uniaxial, em duas amostras de cada material, submersas em soluções distintas e tempos diferentes, assim como uma amostra padrão, já utilizada para a comparação das amostras retiradas após três semanas de imersão, como se pode verificar na tabela 61:

Tabela 61 - Características das amostras utilizadas para cada material quanto à concentração de NaClO utilizada e ao tempo de imersão das mesmas

Características das amostras utilizadas para cada material		
Quantidade	Concentração de NaClO	Tempo de imersão
1 (Padrão)	0%	0 Dias
1	5%	3 Meses
1	100%	3 Meses

Para a realização dos ensaios de tracção, os materiais foram divididos em três grupos, sendo eles os seguintes:

- Materiais metálicos;
- Materiais poliméricos;
- Madeira.

Assim como nas amostras retiradas após três semanas de imersão, para esta avaliação, foram utilizadas as amostras de maior dimensão (140mm X 20mm X espessura).

Os factos verificados nesta análise podem igualmente ser influenciados pela não realização de um pré-tratamento das amostras, o que ocasionalmente pode influenciar a resistência do material. No entanto, este estudo tem como objectivo analisar o comportamento dos materiais em condições de serviço contactando com cloro, não tendo também qualquer tipo de tratamento até à degradação total dos mesmos.

3.8.3.5.5.1. Resultados obtidos nos materiais metálicos em ensaio de tracção

Aço inoxidável 316L

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram distintos os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

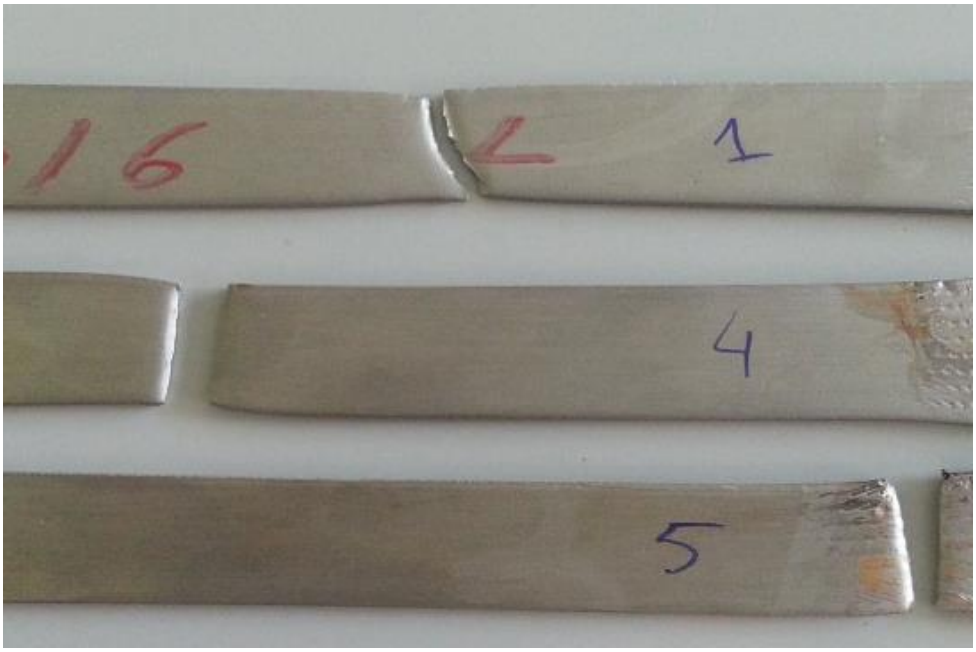


Figura 191 - Amostras de aço inoxidável 316L submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três meses em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três meses em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 191, é possível verificar que a amostra submersa em 100% de NaClO sofreu rotura próximo da extremidade, ou seja, junto à zona de aperto das garras da máquina de

ensaio, enquanto a amostra submersa em 5% de NaClO fracturou entre a extremidade e o centro, e a amostra padrão sofreu rotura na zona central da mesma.

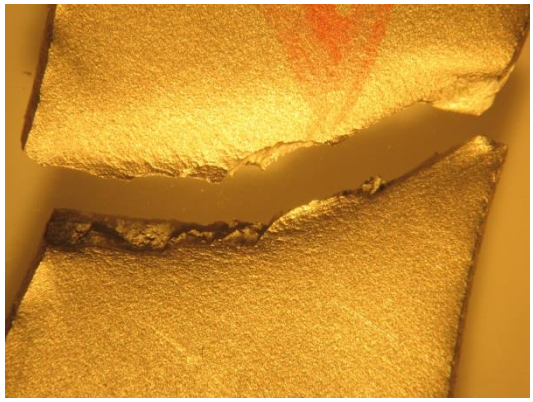
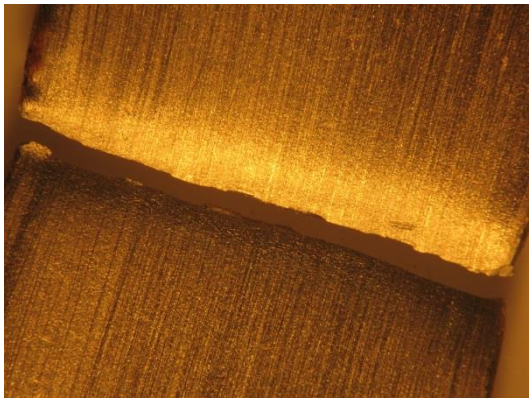
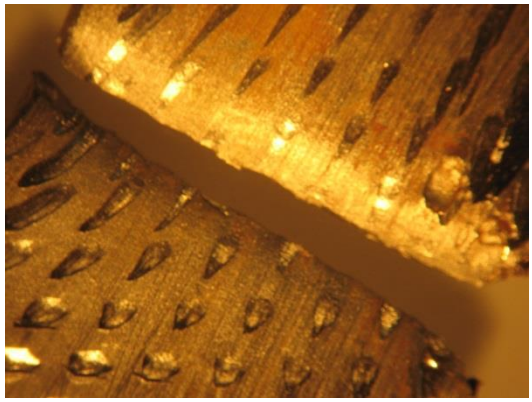
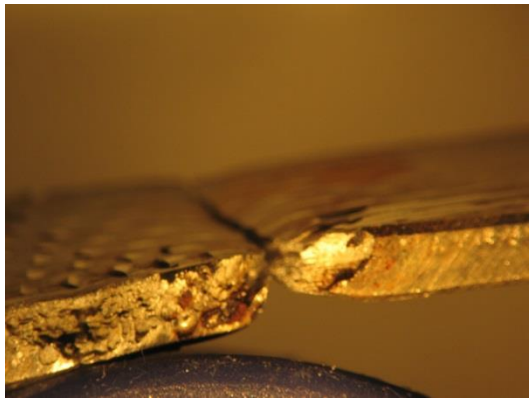
Amostra Padrão	
A 	
5% NaClO	100% NaClO
B 	C 
	D 

Figura 192 - Pormenor da zona de fractura das amostras de aço inoxidável 316L: amostra padrão (A), amostra submersa três meses em 5% NaClO (B), amostra submersa três meses em100% NaClO (C), corrosão junto à zona de fractura da amostra submersa três meses em 100% NaClO (D)

Na figura 192, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas (imagem A, B e C), verificando-se a semelhança do aspecto da fractura, entre a amostra submersa em 5% e a amostra submersa em 100% de NaClO. A fractura da amostra submersa em 100% de NaClO apresentou-se mais próxima da extremidade da mesma (imagem C e D). Este facto deve-se à presença de corrosão na área lateral da amostra submersa em 100% de NaClO, junto à zona de fractura (imagem D), reduzindo a resistência do material nessa zona. O facto da amostra submersa 5% de NaClO apresentar rotura numa zona situada entre o centro e a extremidade da mesma, deve-se possivelmente a inexistência aparente de corrosão na área útil sujeita à tracção, tendo sido no entanto afectada pelo ataque corrosivo da solução de NaClO, apresentando sinais de fragilidade no ensaio quando comparado à amostra padrão.

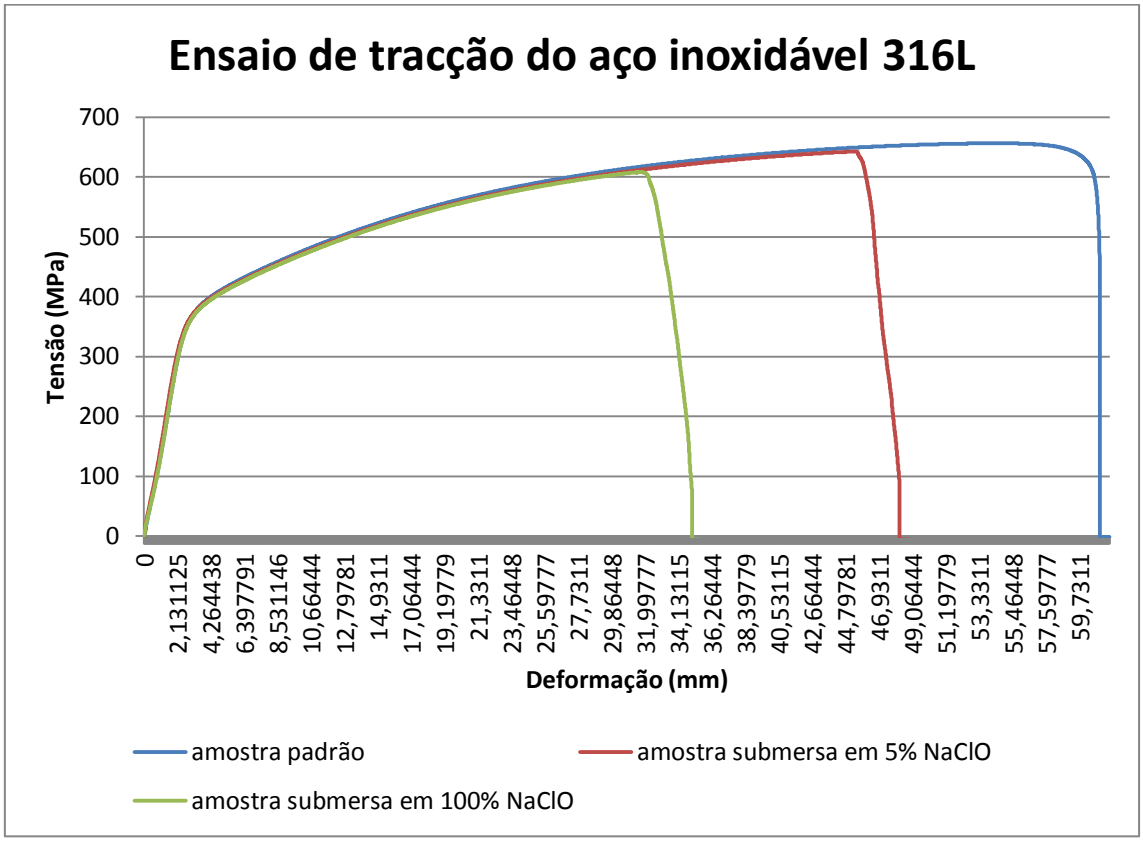


Gráfico 25 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de aço inoxidável 316L referente à amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 25, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, no qual é possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra submersa em 5% e 100% de

NaClO foram bastante afectadas pelo ataque, verificando-se de imediato um alongamento significativamente menor quando comparado à amostra padrão. A amostra padrão e a amostra submersa em 5% de NaClO apresentam um alongamento maior, quando comparado com a amostra submersa em 100% de NaClO. Visualmente, a amostra submersa em 5% de NaClO não apresentou corrosão junto à zona de rotura, no entanto, como já foi comprovado através de outras análises efectuadas neste estudo, o material sofreu ataque por parte da solução de NaClO, justificando a diminuição das propriedades do material. Contudo, podemos verificar que as três amostras mostram comportamentos semelhantes no domínio elástico, verificando-se apenas comportamentos diferentes no domínio plástico e de rotura do material. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se observar através do gráfico 25 que o material praticamente não apresenta estricção, verificando-se no entanto um comportamento mais frágil nas amostras submersas em NaClO.

Tabela 62 - Valores atingido pelo aço inoxidável 316L na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	39382,7	60	656,379	54,49
5% NaClO	38558,8	60	642,646	45,39
100% NaClO	36480,2	60	608,003	31,72
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	28553,8	60	475,897	61,03
5% NaClO	4332,77	60	72,21	48,27
100% NaClO	4663,75	60	77,729	34,99

A tabela 62 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura, em cada amostra, e em função da área transversal da mesma. Esta tabela comprova a analise efectuada atreves do gráfico, podendo-se verificar que as amostras submersas em NaClO apresentaram valores de tensão máxima, de rotura e alongamento, mais baixos que a amostra padrão, devido ao ataque da solução. Podemos ainda verificar que a

amostra submersa em 100% de NaClO é a que apresenta os valores mais baixos, como seria de esperar.

Importa referir, que estas amostras tiveram um comportamento esperado, visto que a amostra submersa em 100% NaClO apresentou maior degradação, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção. Este facto pode ser igualmente explicado por a amostra submersa em 5% NaClO não apresentar corrosão na área de comprimento útil da amostra para o ensaio, ao contrário da amostra submersa em 100% NaClO. Contudo, outras análises já referidas anteriormente mostraram maior degradação na amostra submersa em 100% NaClO.

321

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram distintos os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

Figura 193 - Amostras de aço inoxidável 321 submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três meses em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três meses em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 193, é possível verificar que a amostra padrão e a amostra submersa em 5% de NaClO, sofreram rotura sensivelmente na mesma zona, mais precisamente entre à zona de aperto das garras da máquina de ensaio e o centro da amostra, enquanto a amostra submersa em 100% de NaClO, sofreu rotura junto à zona de aperto das garras da maquina.

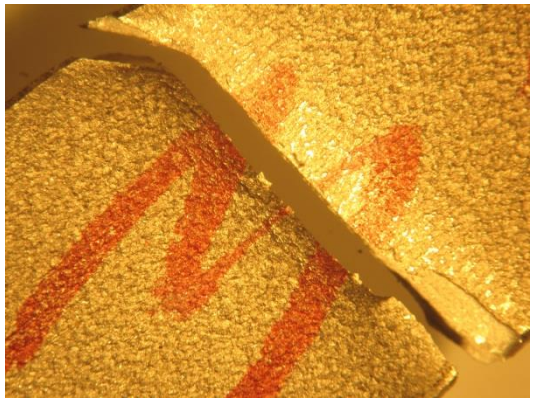
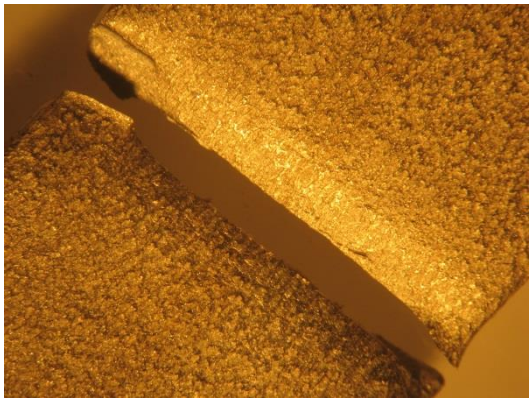
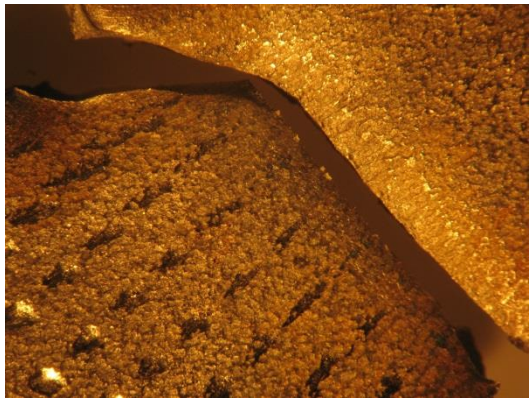
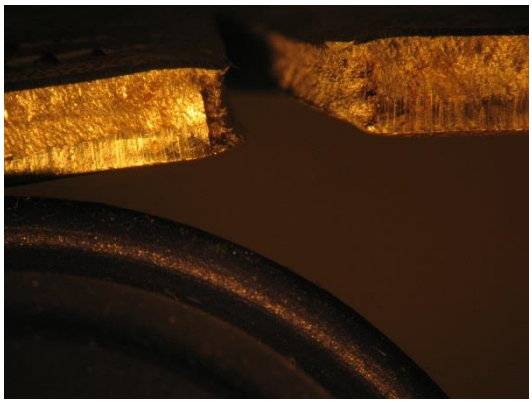
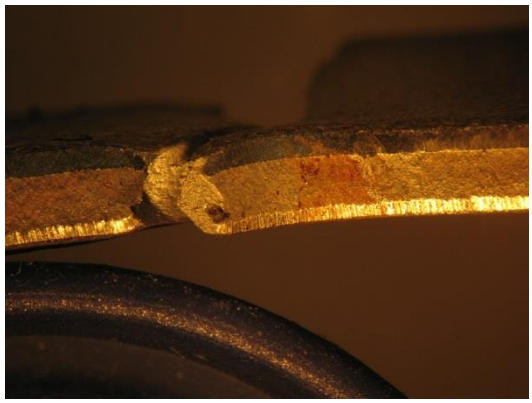
Amostra Padrão	
A	
	
5% NaClO	100% NaClO
B	C
	
D	E
	

Figura 194 - Pormenor da zona de fractura das amostras de aço inoxidável 321: amostra padrão (A), amostra submersa três meses em 5% NaClO (B), amostra submersa três meses em 100% NaClO (C), corrosão junto à zona de fractura da amostra submersa três meses em 5% NaClO (D) e corrosão junto à zona de fractura da amostra submersa três meses em 100% NaClO (E)

Na figura 194, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas (imagem A B e C), Verificando-se um aspecto de fractura semelhante entre a amostra padrão e a amostra submersas em 5% solução de NaClO. A fractura da amostra submersa em 100% de NaClO, apresentou-se mais próximo da extremidade da mesma (imagem C e D). Este facto, assim como um menor alongamento quando comparado à amostra padrão e à amostra submersa em 5% de NaClO, deve-se à presença de corrosão na área lateral da amostra submersa em 100% de NaClO (imagem D), reduzindo a resistência do material nessa zona. O facto da amostra padrão e da amostra submersa em 5% de NaClO apresentarem uma zona de fractura distinta da amostra submersa em 100% de NaClO, deve-se possivelmente à inexistência de corrosão na área útil sujeita à tracção, como seria de esperar.

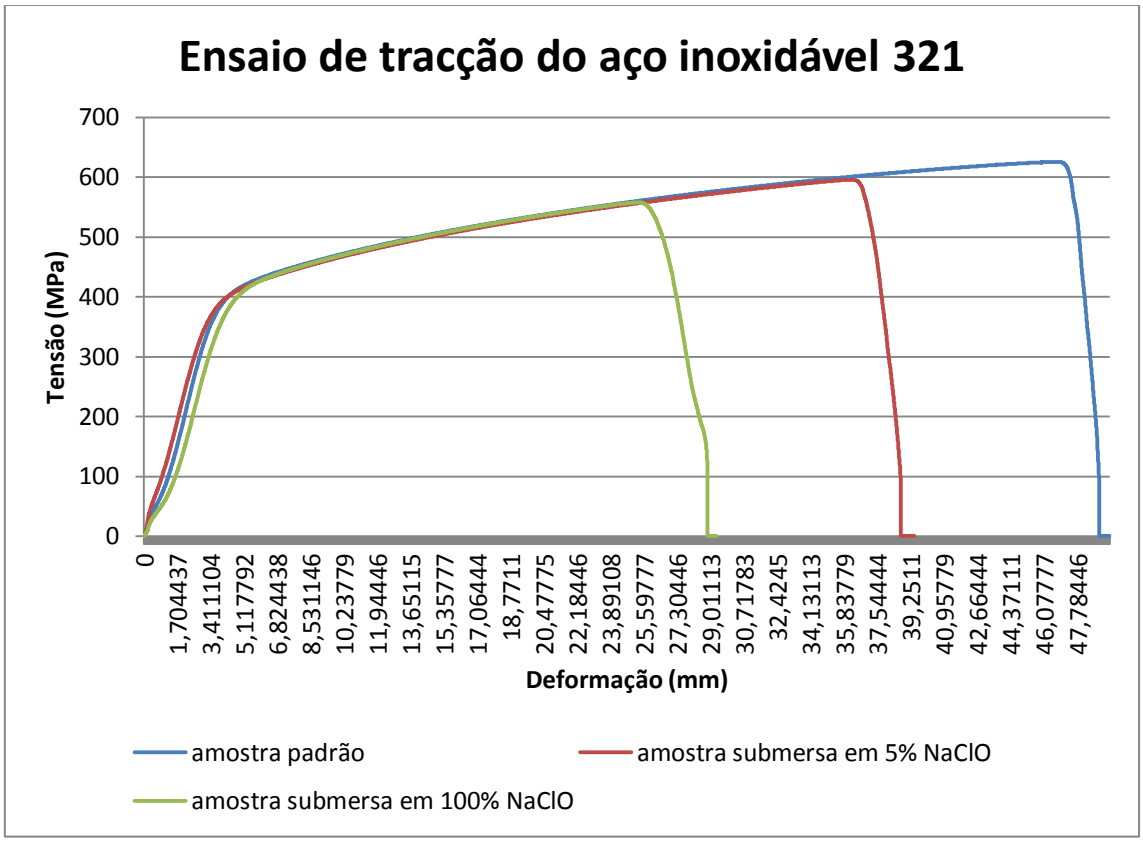


Gráfico 26 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de aço inoxidável 321 referente à amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 26, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, sendo possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO foram afectadas pela corrosão, verificando-se de imediato um alongamento

significativamente quando comparado à amostra padrão. Visualmente, no aço inoxidável 321, as amostras submersas em 5% e 100% de NaClO apresentaram corrosão, comprovando os resultados realizados através de outras análises efectuadas neste estudo, as quais indicaram que material sofreu ataque por parte da solução de NaClO, justificando a diminuição das propriedades do material. Contudo, podemos verificar que as três amostras mostram comportamentos semelhantes no domínio elástico, verificando-se apenas comportamentos diferentes no domínio plástico e de rotura do material. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 26 que o material praticamente não apresenta estricção.

Tabela 63 - Valores atingido pelo aço inoxidável 321 na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	50058,7	80	625,734	46,71
5% NaClO	47667,9	80	595,849	36,23
100% NaClO	44632,3	80	557,904	25,21
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	8476,35	80	105,954	48,91
5% NaClO	7866,27	80	98,328	38,75
100% NaClO	9945,38	80	124,317	28,85

A tabela 63 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma.

A tabela 34 comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que as amostras submersas em NaClO apresentaram valores de tensão máxima, de rotura e alongamento mais baixos que a amostra padrão, devido ao ataque da solução.

Importa referir, que estas amostras tiveram um comportamento esperado, visto que as amostras submersas em solução de NaClO apresentaram maior degradação quando comparado com a amostra padrão, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção, como seria de esperar.

Este facto pode ser explicado por a amostra padrão não ter sofrido qualquer ataque por parte da solução, ao contrário das amostras submersas em 5% e 100% de NaClO. Contudo, outras análises já referidas anteriormente comprovaram os resultados obtidos nesta análise por ensaio de tracção.

Duplex

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram semelhantes os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

Figura 195 - Amostras de Duplex 14462 submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três meses em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três meses em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 195, é possível verificar que a amostra padrão e as amostras submersas em solução de NaClO sofreram rotura sensivelmente na mesma zona, mais precisamente junto à zona central.

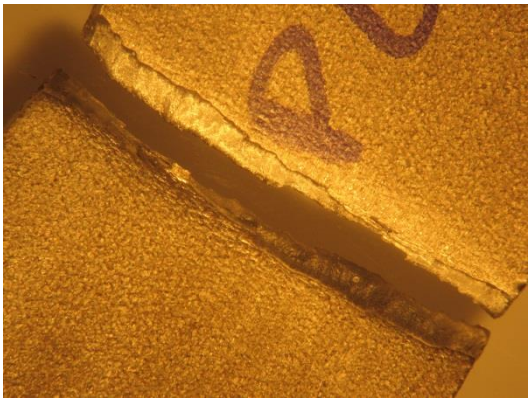
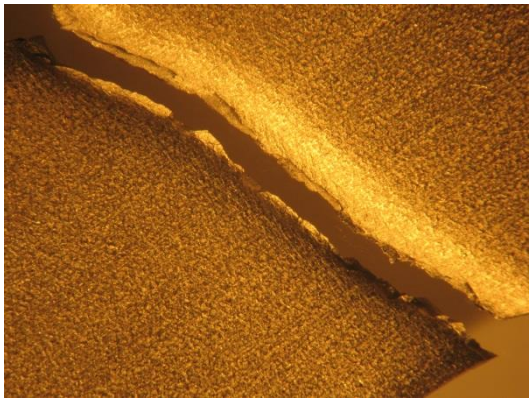
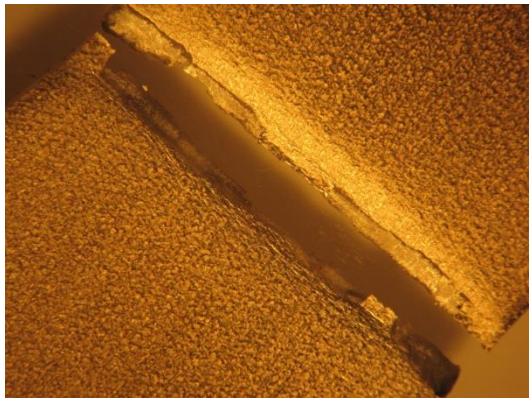
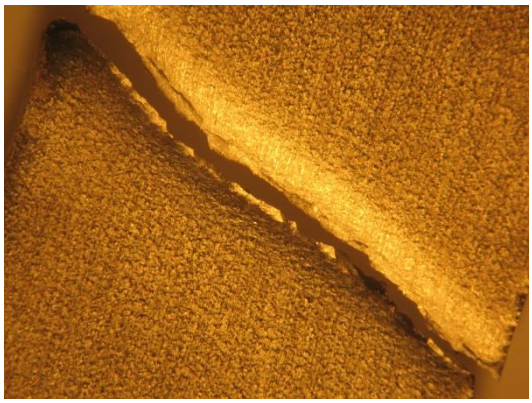
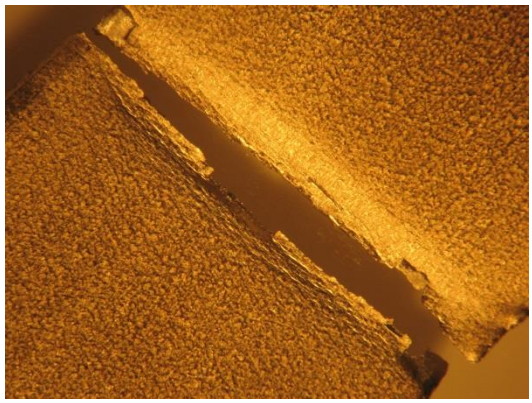
Amostra Padrão	
A	
	
5% NaClO	100% NaClO
B	C
	
D	E
	

Figura 196 - Pormenor da zona de fractura das amostras de Duplex 14462: amostra padrão (A), frente da amostra submersa três meses em 5% NaClO (B), frente da amostra submersa três meses em 100% NaClO (C), traseira da amostra submersa três meses em 5% NaClO (D), traseira da amostra submersa em três meses em100% NaClO (E)

Na figura 196, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas, verificando-se um aspecto de fractura semelhante, comparando a amostra padrão e as duas amostras submersas em solução de NaClO. Este facto, assim como um alongamento semelhante entre as amostras padrão e as amostras submersas nas diluições de 100% de NaClO, deve-se à inexistência de corrosão nas diversas áreas das amostras em estudo, mantendo a resistência do material, como seria de esperar.

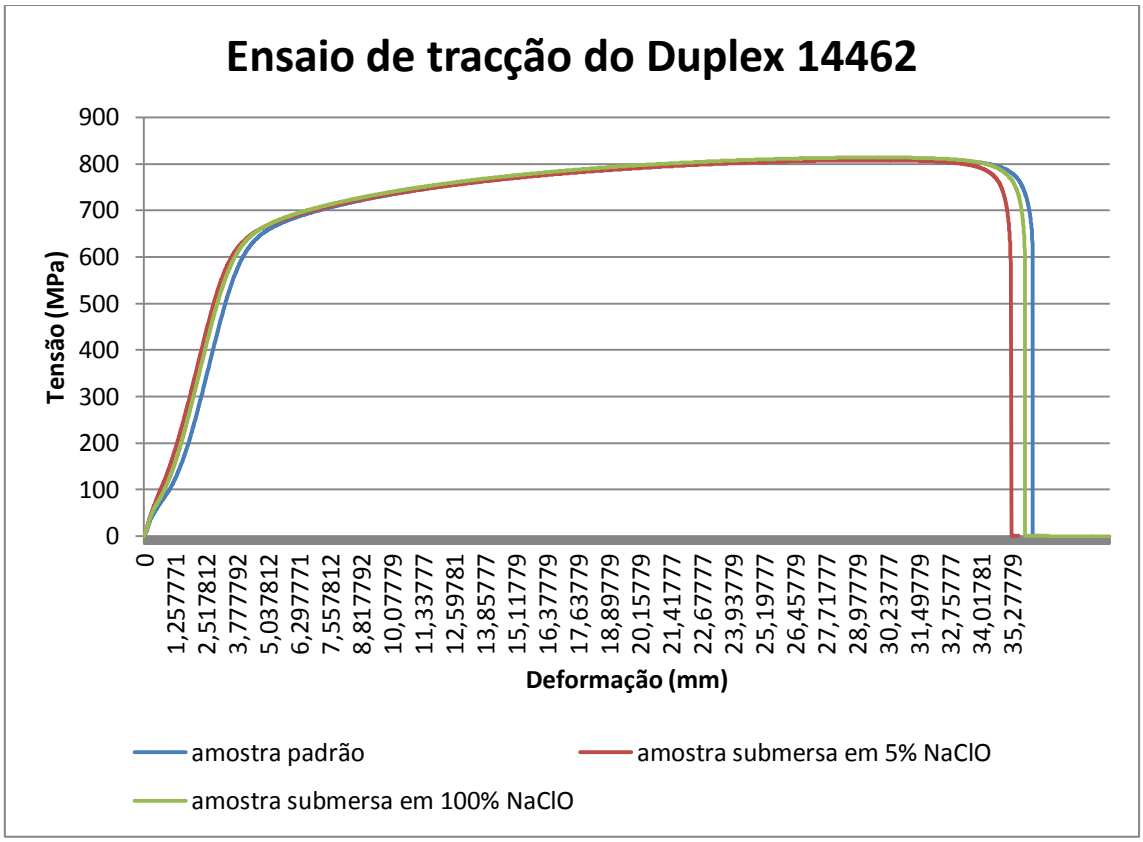


Gráfico 27 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de Duplex 14462 referente à amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 27, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, sendo possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra Padrão e das amostras submersas em NaClO foram semelhantes, indicando que o duplex 14462 foi imune a qualquer ataque corrosivo por parte da solução de NaClO.

Visualmente, no duplex 14462, nenhuma amostra apresentou corrosão junto à zona de rotura, comprovando alguns resultados realizados através de outras análises efectuadas neste estudo.

No entanto, a análise por variação de peso apresenta uma diminuição do mesmo, significando perda de material possivelmente devido à degradação do material. Este facto coincide com o gráfico 27, no qual se pode verificar um alongamento mais baixo das amostras submersas em solução de NaClO, quando comparado à amostra padrão. Contudo, este facto pode ser praticamente desprezável, visto a variação de alongamento ser mínima. Podemos ainda verificar que as três amostras mostram comportamentos semelhantes em todos os domínios. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 27 que o material praticamente não apresenta estricção.

Tabela 64 - Valores atingido pelo Duplex 14462 na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	32414,1	40	540,235	29,97
5% NaClO	32299,3	40	538,322	29,58
100% NaClO	32546,4	40	542,441	29,56
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm^2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	25134,1	40	418,902	36,12
5% NaClO	24054,0	40	400,901	35,23
100% NaClO	24938,2	40	415,636	35,81

A tabela 64 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma.

Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que as amostras submersas em NaClO apresentaram valores de tensão máxima, de rotura e alongamento semelhantes à amostra padrão, significando que o material foi imune ao ataque corrosivo por parte da solução de NaClO.

Importa referir, que estas amostras tiveram um comportamento esperado, visto que as amostras nunca apresentaram sinais significativos de degradação nas restantes avaliações efectuadas, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção.

3.8.3.5.5.2. Resultados obtidos nos materiais poliméricos em ensaio de tracção

PVC

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram distintos os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

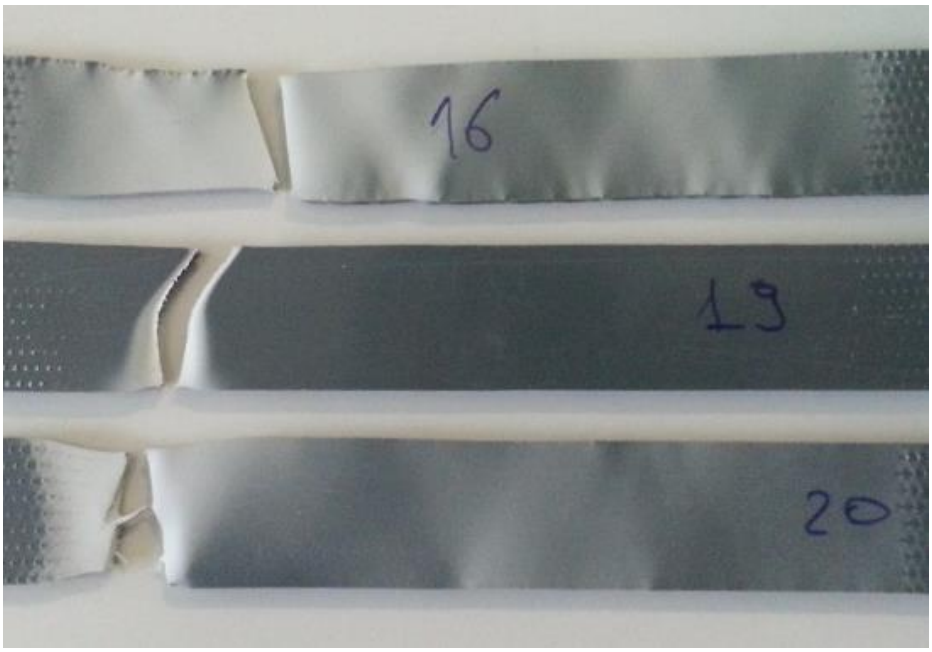


Figura 197 - Amostras de PVC submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três meses em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três meses em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 197, é possível verificar que a amostra submersa em 5% e 100% de NaClO sofreram rotura sensivelmente na mesma zona, mais precisamente junto à zona de aperto das garras da máquina de ensaio, porém ainda na região de comprimento útil, enquanto a amostra padrão sofreu rotura junto próximo da zona central. Alem disso, notou-se regiões de coloração esbranquiçada, em todo o comprimento útil da amostra padrão antes de ocorrer rotura, enquanto nas restantes amostras, essa mesma coloração esbranquiçada verifica-se principalmente junto à zona de rotura, mantendo um coloração semelhante à original no restante comprimento útil da amostra. Isso deve-se à submissão de material, e a uma energia imposta pelo material.

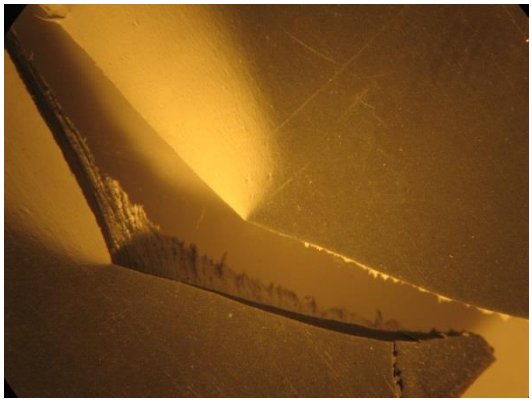
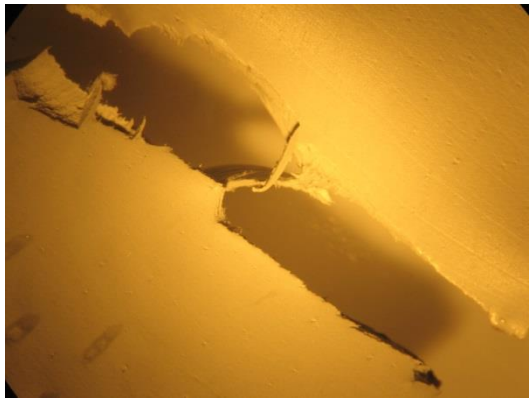
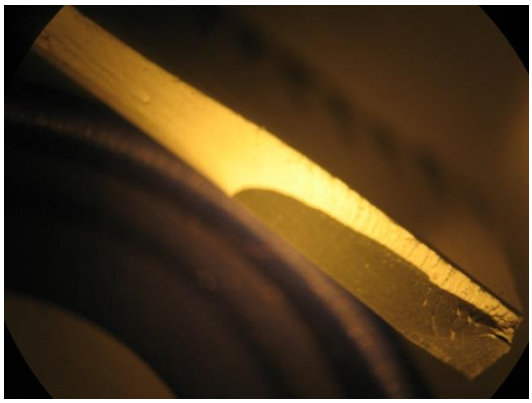
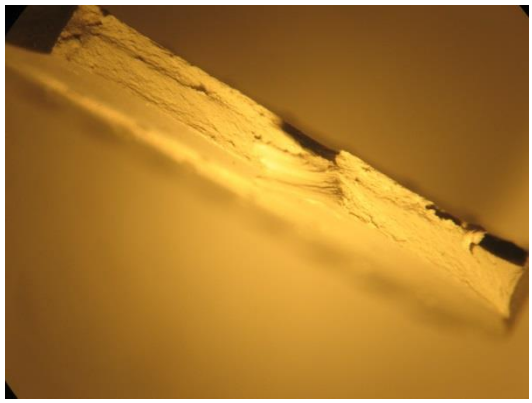
Amostra Padrão	
A	
	
5% NaClO	100% NaClO
B	C
	
D	E
	

Figura 198 - Pormenor da zona de fractura das amostras de PVC: amostra padrão (A), amostra submersa três meses em 5% NaClO (B e D) e amostra submersa três meses em 100% NaClO (C e E)

Na figura 198, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas (imagem A B e C), verificando-se um aspecto de maior degradação consoante o

aumento da concentração de NaClO. No PVC, o aspecto de fractura apresenta-se liso no caso da amostra padrão, enquanto as amostras submersas em solução de NaClO apresentam alguma rugosidade, notando-se um aumento da mesma consoante o aumento da concentração de NaClO. Em ambas as amostras, a fractura mostra-se perpendicular à direcção em que a tensão foi aplicada, e a formação de pescoço foi pouco pronunciado, sendo um fenómeno caracterizado pela redução de área transversal, muito comum nos polímeros. Na imagem D, verifica-se uma área de coloração escura, mostrando que não houve separação de material nessa zona de amostra devido à tracção, alterando assim os valores esperados no ensaio para esta amostra, visto que o esforço não é suportado pela totalidade da área de secção transversal. Este facto pode ser explicado por uma deterioração mais forte provocada pela solução de NaClO nessa zona em que as ligações poliméricas se degradaram, ou mesmo por erros ocorridos durante o processamento do material. A imagem E apresenta a área transversal da amostra submersa em 100% de NaClO, com um aspecto de rotura irregular, indicando zona fragilizada da amostra.

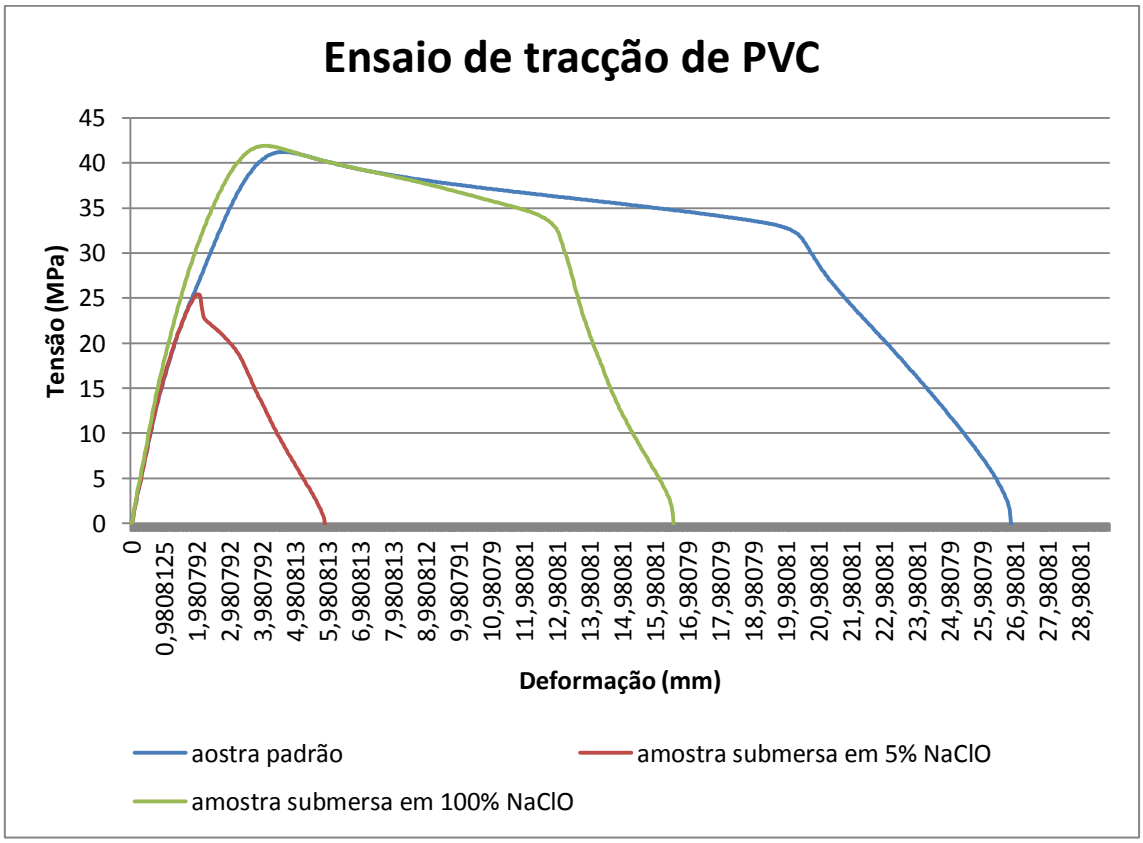


Gráfico 28 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de PVC referente à amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 28, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, no qual é possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO foram afectadas pela degradação provocada pela solução de NaClO, verificando-se de imediato um comportamento significativamente diferente à amostra padrão. Podemos observar através do gráfico 28, uma deformação caracteristicamente plástica da amostra padrão na região de fractura, sendo próprio de uma fractura dúctil. Alem disso, comprova-se ainda que o efeito do ensaio de tracção não se verificou apenas na zona de fractura, mas também em grande parte do comprimento útil, traduzindo-se por a coloração esbranquiçada já referida anteriormente, ao contrários das restantes amostras, nas quais se verifica uma coloração esbranquiças junto a zona de fractura, mantendo-se uma coloração semelhante à original no restante comprimento útil da amostra. Na amostra submersa em 5% de NaClO, verifica-se um domínio plástico praticamente nulo após se atingir a força máxima, assim como na região de fractura quando comparado com as restantes amostras padrão. A amostra padrão apresentou um comportamento esperado, em que se verifica uma menor deformação plástica, indicando deterioração por parte da mesma. Contudo, podemos considerar nulo o ensaio efectuado à amostra submersa em 5% para fins de comparação, devido a incerteza do motivo de obtenção destes resultados, podendo a deterioração não ter sido caudado pelo ataque da solução de NaClO, mas sim devido a erros de processamento. No entanto, verifica-se que a amostra padrão, e a amostra submersa em 100% de NaClO, mostram comportamentos semelhantes no domínio elástico, verificando-se apenas comportamentos diferentes no domínio plástico e de rotura do material. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 28 que o material apresenta menor alongamento na zona de rotura nas concentrações com maior teor de NaClO.

Tabela 65 - Valores atingido pelo PVC na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	2473,84	60	41,203	4,64
5% NaClO	1525,91	60	25,431	2,04
100% NaClO	2513,93	60	41,898	4,14
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm^2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	4,45	60	0,074	26,88
5% NaClO	7,18	60	0,119	5,91
100% NaClO	57,34	60	0,955	16,51

A tabela 65 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma.

Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que a amostra padrão e a amostra submersa em 100% de NaClO, apresentaram valores de força máxima, e alongamento semelhantes.

Na zona de rotura, verifica-se um alongamento significativamente superior na amostra padrão, quando comparada à amostra submersa em 100% de NaClO. Este facto pode ser explicado pela degradação sofrida pelos materiais submersos em NaClO, reduzindo as propriedades plásticas dos mesmos consoante o aumento do teor de NaClO. Este fenómeno traduz-se neste caso por uma fragilização do material, enquanto a amostra padrão continua a deformar-se plasticamente na fase de rotura, apresentando por isso valores mais baixos de força de rotura e valores mais elevados de alongamento.

Importa referir que, com excepção da amostra submersa em 5% de NaClO, as restantes amostras tiveram um comportamento esperado, visto que as amostras submersas em solução de NaClO apresentaram maiores sinais de degradação quando comparado com a amostra padrão, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção, como seria de esperar.

Este facto pode ser explicado por a amostra padrão não apresentar obviamente degradação na área de comprimento útil da amostra para o ensaio, ao contrário das amostras submersas em 5% e 100% de NaClO. Contudo, outras análises já referidas anteriormente comprovaram os resultados obtidos nesta análise por ensaio de tracção.

PEAD

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram semelhantes os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

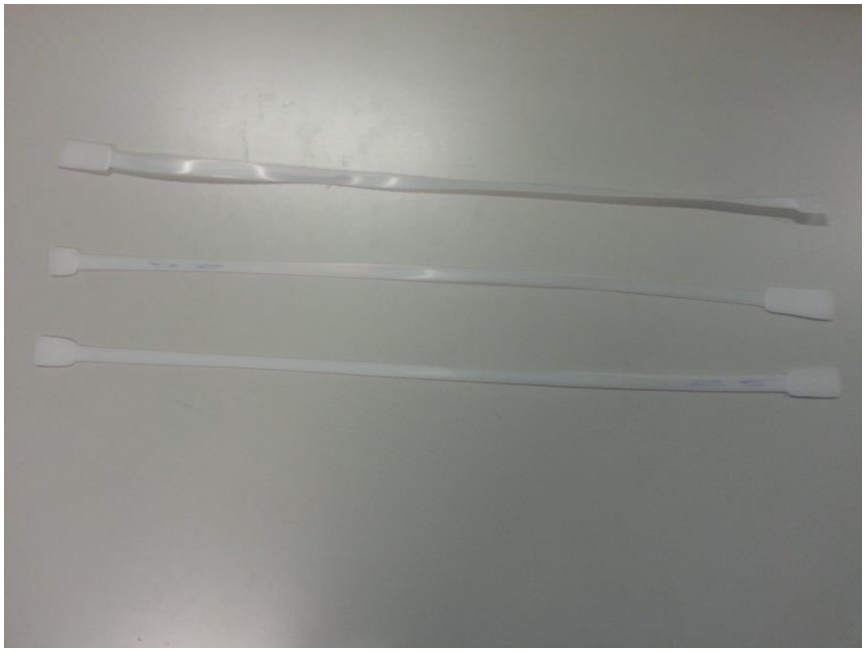


Figura 199 - Amostras de PEAD submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três meses em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três meses em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 199, é possível verificar que a amostra padrão e as amostras submersa em NaClO apresentaram um comportamento semelhante, podendo-se observar um elevado alongamento, sem ocorrência de rotura. Visualmente, não foi possível observar nas amostras, qualquer sinal de degradação provocado pelo ataque da solução de NaClO.

Amostra Padrão	
A 	
5% NaClO	100% NaClO
B 	C 

Figura 200 - Pormenor da zona de deformação das amostras de PEAD: amostra padrão (A), amostra submersa três meses em 5% NaClO (B), amostra submersa três meses em100% NaClO (C)

Na figura 200, é possível observar mais detalhadamente a zona de deformação elástica do material (imagem A, B e C), verificando-se um comportamento de deformação semelhante em ambas as amostras. A amostra padrão assim como as amostras submersas em NaClO, apresentaram uma elevada deformação, sem ocorrência de rotura, interrompendo-se o ensaio quando o limite máximo de curso da máquina foi atingido. O fenómeno desta elevada deformação plástica ocorre em alguns materiais, quando são submetidos a tensões, numa temperatura e taxas de deformação adequadas. Verifica-se igualmente, que a deformação das amostras é muito homogenia, significando que as amostras apresentam elevada resistência em desenvolver uma região de estrangulação, apresentando uma diminuição muito uniforme

de dimensões na área útil de tracção, verificando-se a formação de pescoço em cada extremidade da amostra, devido à elevada deformação plástica.

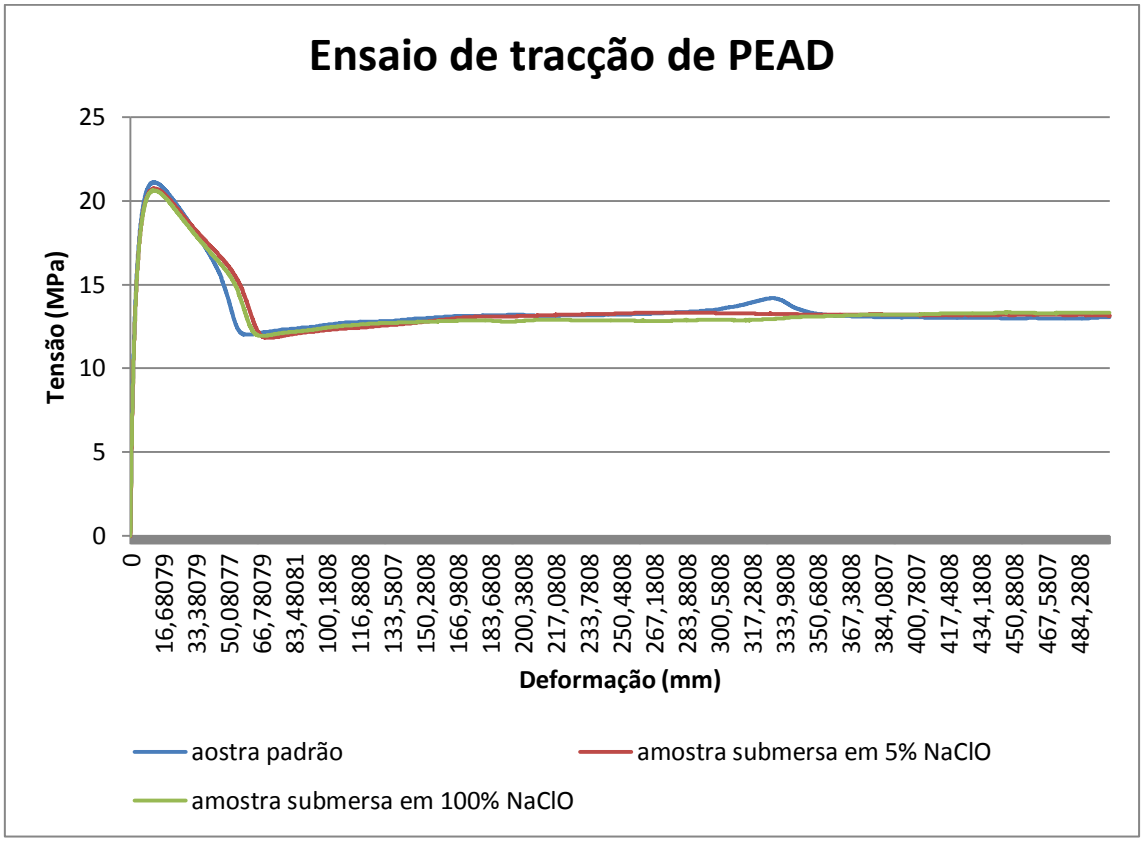


Gráfico 29 - Resultado Força/Deslocamento do ensaio de tracção de PEAD referente à amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 29, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, sendo possível verificar que as propriedades mecânicas das três amostras apresentaram comportamentos semelhantes. As amostras apresentaram uma deformação caracteristicamente plástica, sem rotura, com um alongamento de aproximadamente 500 mm, correspondendo ao limite de curso da máquina de ensaio, verificando-se uma deformação homogénea permanente.

A amostra padrão e as amostras submersas em NaClO apresentaram um comportamento esperado, em que se verifica comportamentos semelhantes no domínio elástico e uma elevada deformação plástica, indicando que as suas propriedades quanto à deformação continuam inalteradas. Podemos então comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras,

podendo-se verificar através do gráfico 29 que o material apresenta um alongamento semelhante nas diversas amostras.

Tabela 66 - Valores atingido pelo PEAD na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	1266,21	60	21,103	11,78
5% NaClO	1243,64	60	20,493	12,01
100% NaClO	1236,65	60	20,610	12,28
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	-	60	-	500
5% NaClO	-	60	-	500
100% NaClO	-	60	-	500

A tabela 66 acima apresentada, mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e alongamento em cada amostra, não apresentando valores de rotura devido a inexistência da mesma. Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que as três amostras apresentaram valores de força máxima e alongamentos semelhantes.

Importa referir que todas as amostras tiveram um comportamento esperado, visto que a elevada deformação plástica é uma das principais características do PEAD, resistindo bastante bem a ataques sofridos por agentes químicos como o NaClO. Não foi por isso possível observar sinais de degradação das amostras submersas em NaClO, quando comparado com a amostra padrão, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção, como seria de esperar. Outras análises já referidas anteriormente comprovaram os resultados obtidos nesta análise por ensaio de tracção.

PP

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram distintos os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

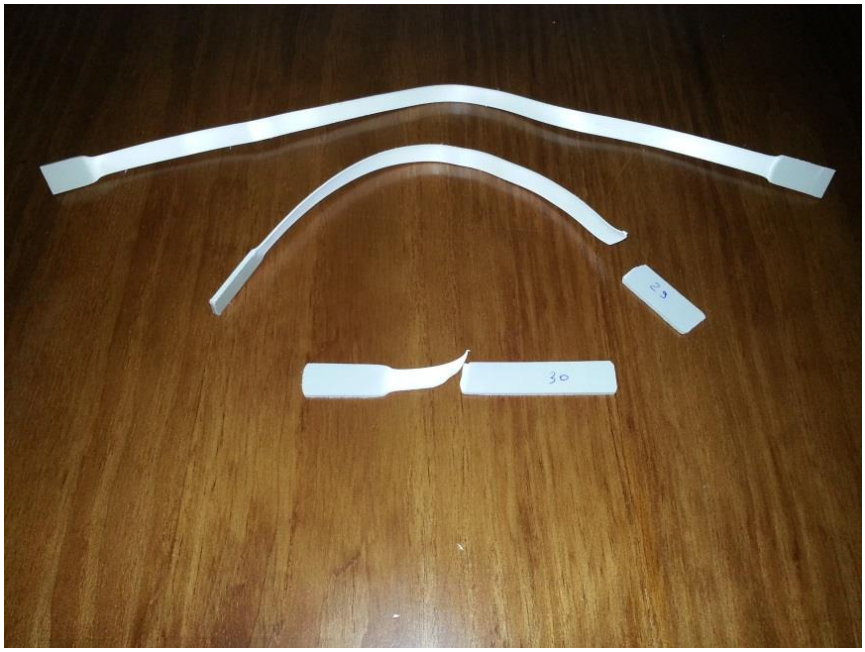


Figura 201 - Amostras de PP submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três meses em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três meses em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 201, é possível verificar que a amostra submersa em 5% de NaClO e a amostra submersa em 100% de NaClO apresentaram rotura, podendo-se observar, no entanto, um elevado alongamento na amostra submersa em 5% de NaClO. A amostra submersa em 100% de NaClO sofreu rotura sensivelmente na zona central, enquanto a amostra submersa em 5% de NaClO sofreu rotura junto a extremidade da mesma, apresentando-se porém no comprimento útil do ensaio. Visualmente, podemos afirmar que a amostra submersa em 5% de NaClO apresenta um comportamento com características contidas entre a amostra padrão e a amostra submersa em 100% de NaClO, como seria de esperar, visto que, teoricamente, a força do ataque de NaClO na amostra submersa em 5% está compreendida entre a força do ataque da amostra padrão e da amostra submersa em 100% de NaClO. Visualmente, não foi possível observar nas amostras qualquer sinal de degradação provocado pelo ataque da solução de NaClO.

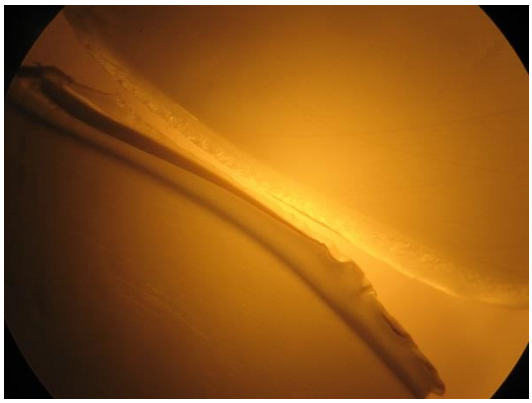
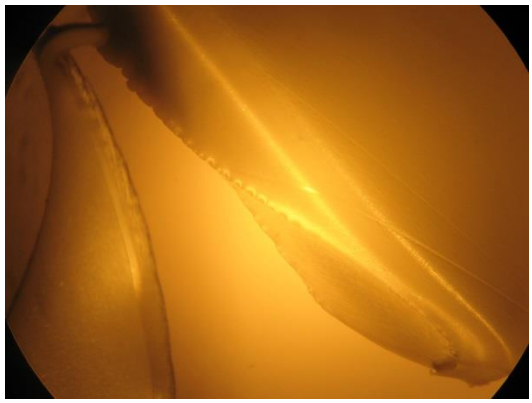
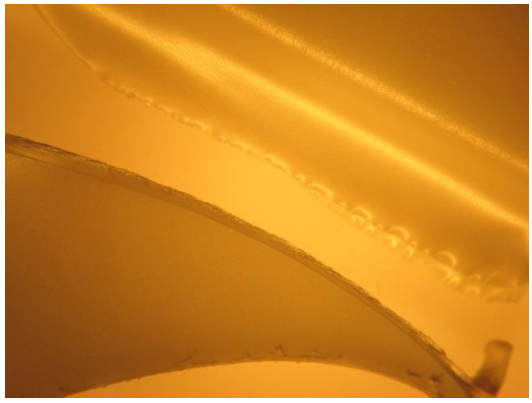
Amostra Padrão	
A	
	
5% NaClO	100% NaClO
B	C
	
D	E
	

Figura 202 - Pormenor da zona de deformação ou fractura das amostras de PP: amostra padrão (A), amostra submersa três meses em 5% NaClO (B e D), amostra submersa três meses em100% NaClO (C e E)

Na figura 202, é possível observar mais detalhadamente a zona de deformação elástica (imagem A), e da zona de ruptura das amostras traccionadas (imagem B, C , D e E), verificando-se um comportamento distinto nas três amostras.

Na amostra submersa em 100% de NaClO, verifica-se deformação plástica na zona de rotura, assim como a formação de pescoço em uma das partes da amostra, apresentando igualmente extensão de material característico dos materiais poliméricos, ao contrário da outra parte que apresentou uma fractura sem extensão de material, e perpendicular à força de tracção, significando maior fragilidade nessa metade da amostra (imagem C e E).

A amostra padrão apresenta uma elevada deformação, sem rotura, interrompendo-se o ensaio quando o limite máximo de curso da máquina foi atingido (imagem A). O fenómeno desta elevada deformação plástica ocorre em alguns materiais quando são submetidos a tensões numa temperatura e taxas de deformação adequadas. Verifica-se igualmente que a deformação da amostra é muita homogenia, significando que a amostra apresenta elevada resistência em desenvolver uma região de estrangulação, apresentando uma diminuição muito uniforme de dimensões na área útil de tracção.

Como já foi referido, a amostra submersa em 5% de NaClO apresenta características verificadas nas restantes amostras, observando-se uma elevada deformação plástica, assim como a formação de pescoço nas duas extremidades da amostra (semelhante à amostra padrão), ocorrendo no entanto rotura (semelhante à amostra submersa em 100% de NaClO). A fractura apresentou-se perpendicular ao sentido da força de tracção, significando fragilidade do material. No entanto, a amostra apresentou um alongamento consideravelmente grande, podendo-se concluir que a plasticidade do material foi afectada pelo ataque da solução de NaClO, e que a amostra submersa em 100% foi muito mais afectada pelo ataque, como seria de esperar, traduzindo-se por uma perda de propriedades no domínio plástico.

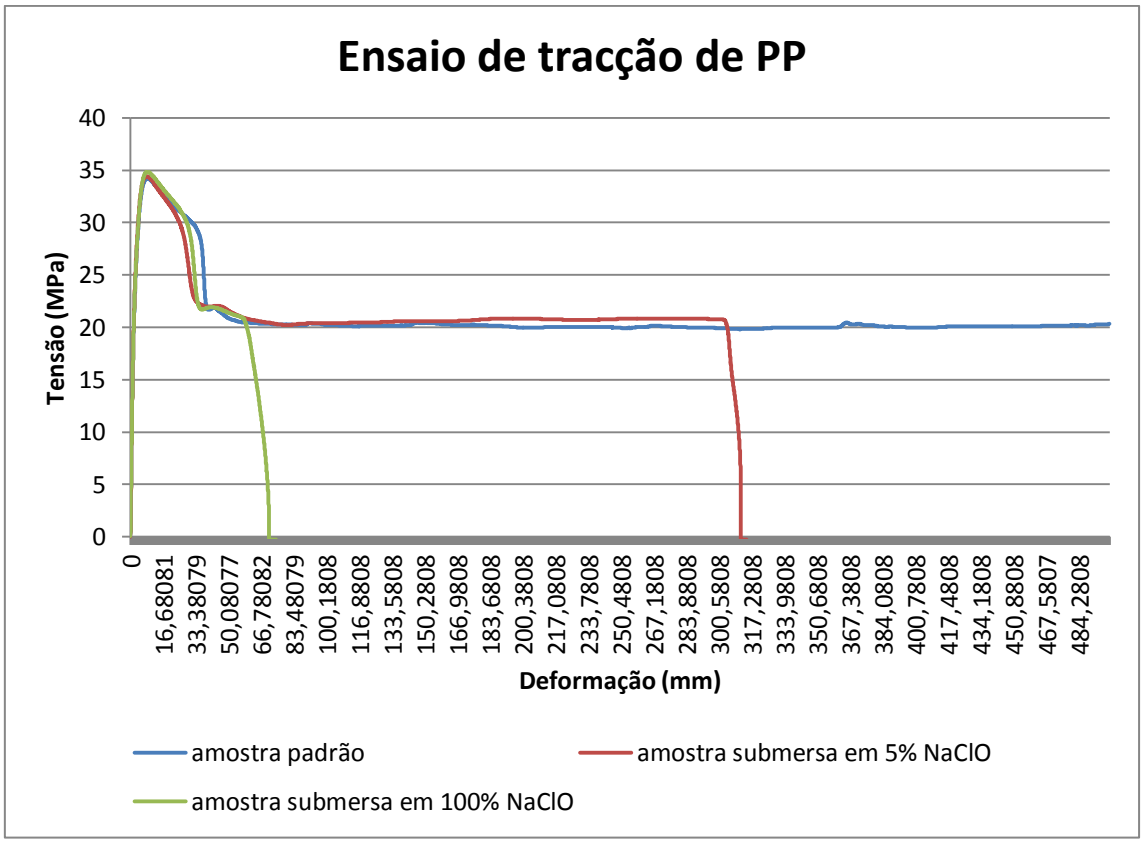


Gráfico 30 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de PP referente à amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 30, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, sendo possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra padrão e das amostras submersas em 5% e 100% de NaClO tiveram comportamentos distintos. A amostra padrão apresenta uma deformação caracteristicamente plástica sem rotura, com um alongamento de aproximadamente 500mm, correspondendo ao limite de curso da máquina de ensaio. A amostra submersa em 5% de NaClO apresenta um alongamento consideravelmente elevado, no entanto, verificam-se sinais de degradação através da rotura ocorrido no material, e pela comparação das restantes amostras, apresentando índices de fragilidade. A amostra submersa em 100% de NaClO apresenta pouca deformação plástica, sendo possível concluir que o material sofreu elevada degradação, visto que os resultados obtidos foram bastante distintos das restantes amostras, apresentando fragilidade do material na zona de rotura devido ao ataque sofrido. As amostras submersas em 5% e 100% de NaClO apresentaram um comportamento esperado, em que se verifica uma deformação plástica superior na amostra submersa em 5% de NaClO quando comparado à amostra submersa em 5% de NaClO, com posterior rotura em ambas as amostras, indicando que as suas propriedades quanto à deformação sofreram alterações.

De uma forma geral, verifica-se que as três amostras apresentaram comportamentos semelhantes no domínio elástico, verificando-se apenas comportamentos diferentes no domínio plástico do material. Podemos então comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 30 que o material apresenta um alongamento diferente em todas as amostras.

Tabela 67 - Valores atingido pelo PP na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	2051,51	60	34,191	8,64
5% NaClO	2065,77	60	34,429	8,18
100% NaClO	2090,07	60	34,834	8,78
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	-	60	-	500
5% NaClO	403,54	60	6,72	311,58
100% NaClO	105,66	60	1,76	70,84

A tabela 67 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma. Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que as três amostras apresentaram valores de força máxima semelhantes. Verifica-se igualmente um alongamento semelhante no ponto de força máxima, em todas as amostras. Na força de rotura, verifica-se um alongamento permanente sem ocorrência de rotura na amostra padrão, ocorrendo rotura na amostra submersa em 5% de NaClO, diminuindo a respectiva força na amostra submersa em 100% de NaClO.

Importa referir que as amostras tiveram um comportamento esperado, visto que a elevada deformação plástica é uma das principais características do PP, perdendo no entanto resistência ao longo do tempo, devido aos ataques sofridos por agentes químicos como o NaClO. Foi por isso possível observar sinais de degradação das amostras submersas em NaClO quando comparado com a amostra padrão, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de

tracção, como seria de esperar. Outras análises já referidas anteriormente comprovaram os resultados obtidos nesta análise por ensaio de tracção.

3.8.3.5.5.3. Resultados obtidos na madeira em ensaio de tracção

Faia

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram distintos os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

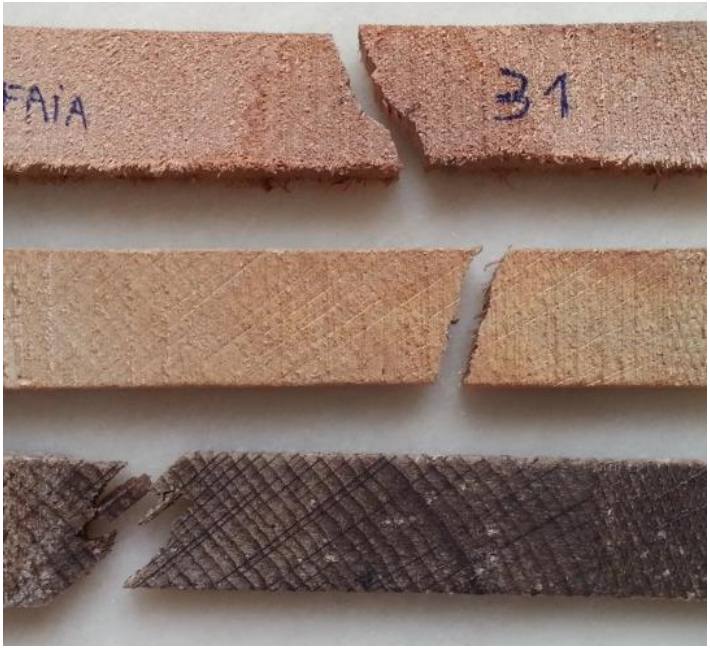


Figura 203 - Amostras de madeira de Faia submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três meses em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três meses em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 203, é possível verificar que a amostra submersa em 5% e 100% de NaClO sofreram rotura sensivelmente na mesma zona, mais precisamente junto à zona de aperto das garras da máquina de ensaio. Este facto pode ser justificado por uma diferença significativa de área transversal próximo da zona de rotura, devido ao ataque provocado pela solução de NaClO. Pelo contrário, a amostra padrão sofreu rotura próximo da zona central. A amostra padrão apresenta uma dimensão de área transversal uniforme em todo o seu comprimento.

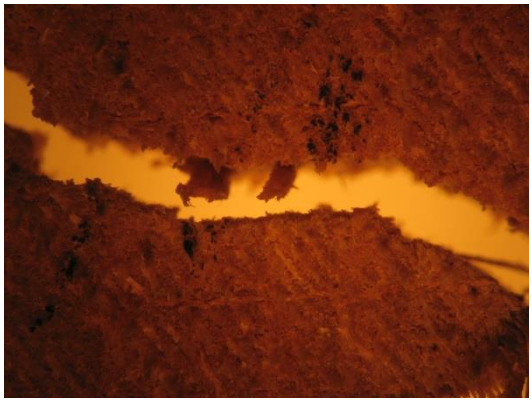
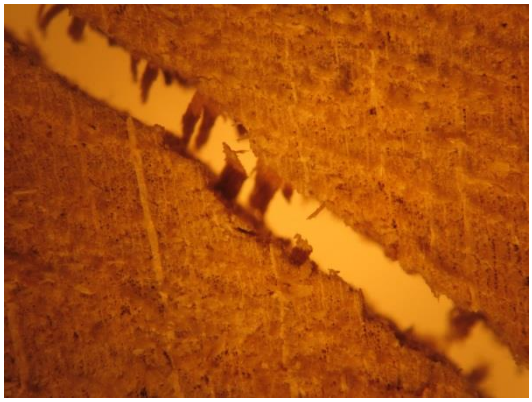
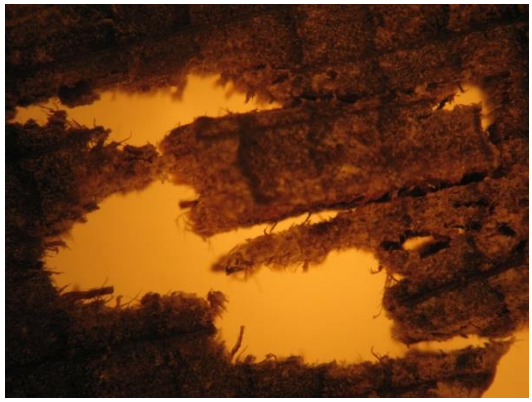
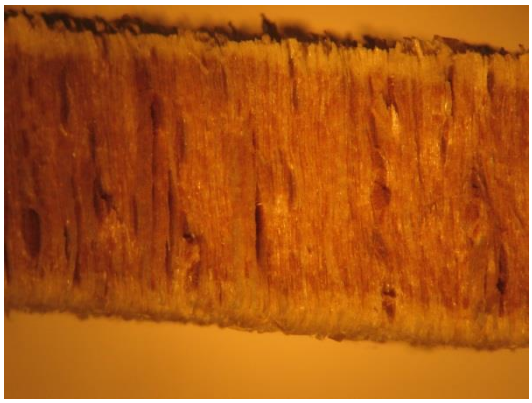
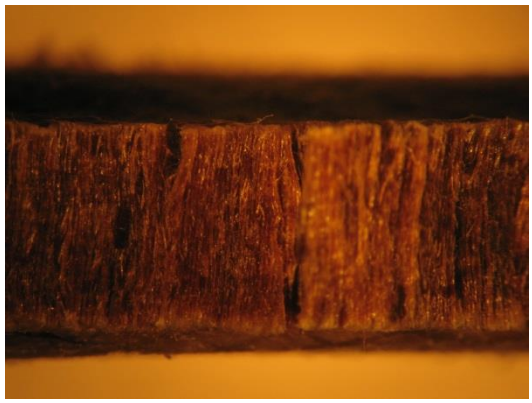
Amostra Padrão	
A	B
	
5% NaClO	100% NaClO
C	D
	
E	F
	

Figura 204 - Pormenor da zona de fractura das amostras de madeira de Faia: amostra padrão (A e B), amostra submersa três meses em 5% NaClO (C e E), amostra submersa três meses em 100% NaClO (D e F)

Na figura 204, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas, verificando-se um aspecto de fractura distinto entre as três amostras. A fractura da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO apresentou-se mais perto da extremidade das mesmas (imagem C e D), junto a redução de área transversal. Assim como nas amostras retiradas após três semanas de imersão, na amostra padrão e na amostra submersa em 5% NaClO, verifica-se uma rotura de tracção com corte, enquanto a amostra submersa em 100% NaClO, apresenta uma rotura lascada. Este facto, assim como um alongamento da amostra submersa em 5% NaClO semelhante ao da amostra padrão, deve-se à deterioração das amostras submersas em NaClO (imagem E e F), reduzindo a resistência do material. Neste caso, após três meses, verifica-se que a amostra submersa em 5% de NaClO apresenta um alongamento ligeiramente mais baixo que a amostra padrão, ao contrário da amostra submersa em 5% NaClO num prazo de três semanas, que apresentou uma deformação maior que a amostra padrão, significando que o material aumenta a sua degradação com o aumento do tempo. A diferença de secção é provocada pelo sumiço de material originado pelo contacto com NaClO. Principalmente na amostra submersa em 100% de NaClO (imagem D), em que partes de material se separaram durante o esforço de tracção, é possível observar o aspecto de degradação sofrido pelo material, quando comparado com a amostra submersa em 5% de NaClO (imagem C), assim como a amostra padrão (imagem A). O alongamento das amostras submersas, é possivelmente provocado pelo alargamento dos poros do material, sendo ocupado pela solução de NaClO, degradando também a estrutura que oferece resistência ao material, deixando-o alongar mais. Na imagem E, observa-se na amostra submersa em 5% NaClO, uma diferença de coloração nas extremidades da amostra, indicando deterioração da mesma, que originará diminuição das suas dimensões com o aumento de força do ataque, ou com o decorrer de tempo, visto ser um processo irreversível. No entanto, a estrutura interna da madeira de Faia permanece semelhante à estrutura da amostra padrão. Pelo contrário, na amostra submersa em 100% NaClO (imagem F), à semelhança da amostra submersa em 5% NaClO, é possível observar degradação, mas em estado avançado, na qual se verifica a diminuição das dimensões. É igualmente possível observar a degradação da estrutura da amostra, assim como uma zona de coloração mais escura, sendo sinais de deterioração provocado pelo ataque. Estes factos podem ser comprovados pela avaliação efectuada por via de microscopia electrónica.

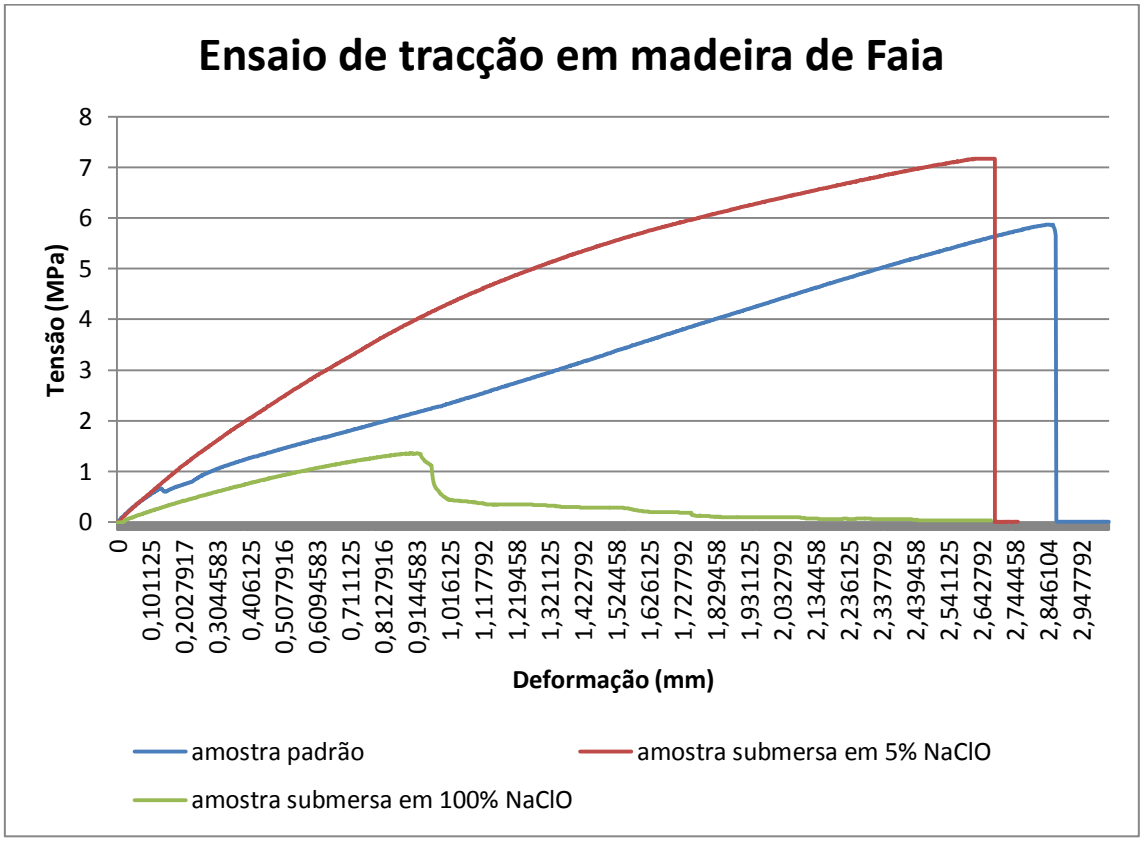


Gráfico 31 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de madeira de Faia referente à amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 31, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, no qual é possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO foram afectadas pela corrosão, tendo em conta que, apesar de ter estado mergulhado em solução de NaClO, e de apresentar sinais de degradação, verifica-se valores próximos da amostra padrão, verificando-se mesmo um alongamento da amostra submersa em solução de 5% NaClO semelhante à amostra padrão. A amostra submersa em 100% NaClO é considerada nula para fins de avaliação, visto apresentar um comportamento inconclusivo. Porem, importa referir que as duas amostras de Faia submersas em 100% NaClO, tiveram que ser avaliadas em condições diferentes das restantes amostras, e dos diversos materiais. Esta amostra foi traccionada com uma distância entre garras de 60 mm, de forma a conseguir-se uma maior área de contacto das garras da máquina de ensaio, ao contrário das restantes amostras que foram traccionadas com uma distância de 90 mm. Na concentração de 100% NaClO, o material apresentava-se muito pastoso, provocando escorregamento das garras da máquina mesmo após a alteração da distância entre garras, conforme se pode verificar no gráfico 31. Visualmente, na madeira de Faia, as amostras submersas em 5% e 100% de NaClO

apresentaram degradação, comprovando os resultados realizados através de outras análises efectuadas neste estudo, as quais indicaram que material sofreu ataque por parte da solução de NaClO. Contudo, podemos verificar que a amostra padrão e a amostra submersa em 5% NaClO, mostram comportamentos semelhantes, apresentando-se como um material frágil. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 31 que o material não apresenta estricção.

Tabela 68 - Valores atingido pela madeira de Faia na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	939,099	160	5,86	2,84
5% NaClO	1147,99	160	7,18	2,68
100% NaClO	216.802	160	1,35	0,90
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm^2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	904,814	160	5,65	2,87
5% NaClO	1147,83	160	7,16	2,69
100% NaClO	-	160	-	-

A tabela 68 acima apresentada, mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma.

Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que a amostra submersa em 5% NaClO apresentara valores de tensão máxima e de rotura, próximos dos valores obtidos pela amostra padrão. Comprova-se igualmente a presença de alongamentos semelhantes à amostra padrão. Como seria de esperar, a amostra submersa em 100% NaClO não apresentou resultados conclusivos. Apenas podemos concluir que esta amostra pode ser considerada como perda total, devido ao ataque provocado pela solução de NaClO.

Importa referir, que estas amostras não tiveram um comportamento esperado, visto que as amostras submersas em solução de NaClO deveriam apresentar alongamentos mais elevados, quando comparado com a amostra padrão, conforme se verificou nas amostras retiradas após

três semanas de imersão, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção. Este facto pode ser justificado pelo elevado nível de degradação, ocorrido num período de tempo mais elevado. Contudo, outras análises já referidas anteriormente comprovaram os resultados obtidos nesta análise por ensaio de tracção.

Carvalho

Após a realização do ensaio, podemos verificar que foram semelhantes os resultados obtidos, quer a nível de rotura, assim como a nível de alongamento.

Figura 205 - Amostras de madeira de Carvalho submetidas a ensaio de tracção: amostra padrão (em cima), amostra submersa três meses em 5% NaClO (no centro) e amostra submersa três meses em 100% NaClO (em baixo)

Analisando a figura 205, é possível verificar que as três amostras sofreram rotura sensivelmente na mesma zona, mais precisamente próximo da zona central. Assim como nas amostras retiradas após três semanas de imersão, verifica-se rotura por tracção pura. As amostras apresentavam fragilidade, assim como uma diminuição contínua e decrescentes de secção transversal em todo o longo da amostra, devido ao ataque provocado pela solução. Este facto torna qualquer zona da amostra susceptível à ocorrência de rotura. A amostra submersa em 100% NaClO apresenta um teor mais elevado de humidade, quando comparado às restantes amostras, comprovando que o facto de o material apresentar uma coloração mais escura. Este facto deve-se à elevada quantidade de fluido que permanece no interior da amostra, não se libertando naturalmente. O fluido retido refere-se ao hipoclorito de sódio,

visto que este fenómeno apenas se verifica nas amostras submersas nas concentrações de 100% de NaClO. Este facto significa igualmente que este fluido não se liberta tão facilmente como a água, visto que as amostra submersas em 5% de NaClO não apresentaram este fenómeno.

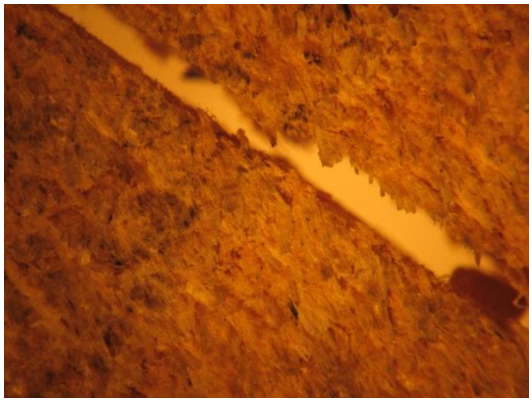
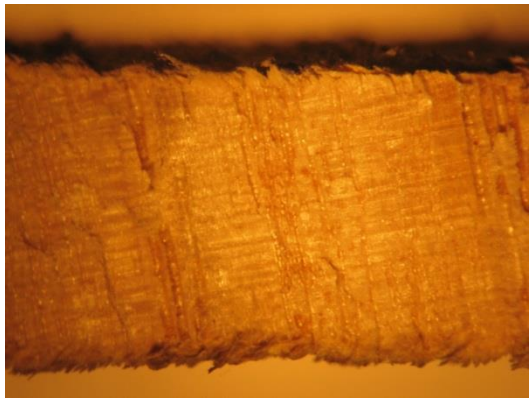
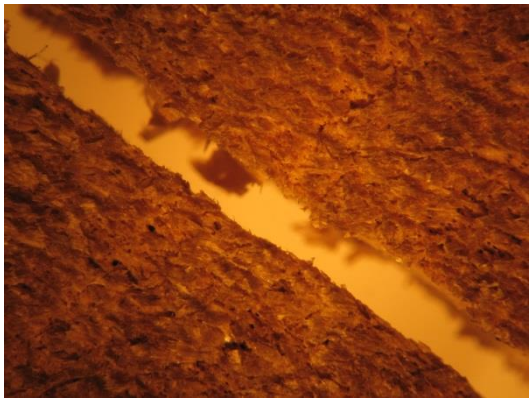
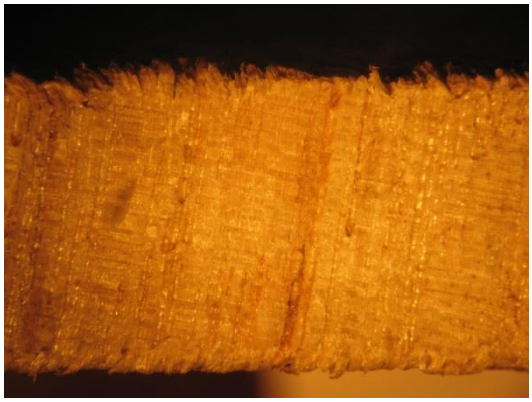
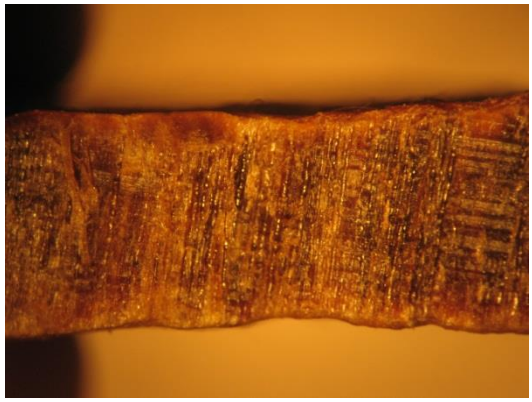
Amostra Padrão	
A	B
	
5% NaClO	100% NaClO
C	D
	
E	F
	

Figura 206 - Pormenor da zona de fractura das amostras de madeira de Carvalho: amostra padrão (A e B), amostra submersa três meses em 5% NaClO (C e E), amostra submersa três meses em 100% NaClO (D e F)

Na figura 206, é possível observar mais detalhadamente a zona de ruptura das amostras traccionadas, verificando-se um aspecto de fractura distinto entre as três amostras.

A fractura da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO apresentou-se próximo da zona central das mesmas (imagem C e D). Este facto, assim como um maior alongamento das amostras submersas em NaClO, quando comparado à amostra padrão, deve-se à deterioração das amostras submersas em NaClO (imagem E e F), reduzindo a resistência do material nessa zona. A diferença de secção é provocada pelo sumiço de material originado pelo contacto com NaClO. Principalmente na amostra submersa em 100% de NaClO (imagem D), é possível observar o aspecto de degradação sofrido pelo material, quando comparado com a amostra submersa em 5% de NaClO (imagem C), assim como a amostra padrão (imagem A). O alongamento das amostras submersas, é possivelmente provocado pelo alargamento dos poros do material, sendo ocupado pela solução de NaClO, degradando também a estrutura que oferece resistência ao material, deixando o material alongar mais. Na imagem E, observa-se na amostra submersa em 5% NaClO, que a estrutura interna da madeira de Carvalho permanece semelhante à estrutura da amostra padrão, ao contrário da madeira de faia, que nestas condições apresentou uma diferença de coloração nas extremidades da amostra, indicando deterioração da amostra.

Pelo contrário, na amostra submersa em 100% NaClO (imagem F), é possível observar degradação, mas em estado avançado. É igualmente possível observar a degradação da estrutura da amostra, assim como uma zona de coloração mais escura, sendo sinais de deterioração provocado pelo ataque. Estes factos podem ser comprovados pela avaliação efectuada por via de microscopia electrónica.

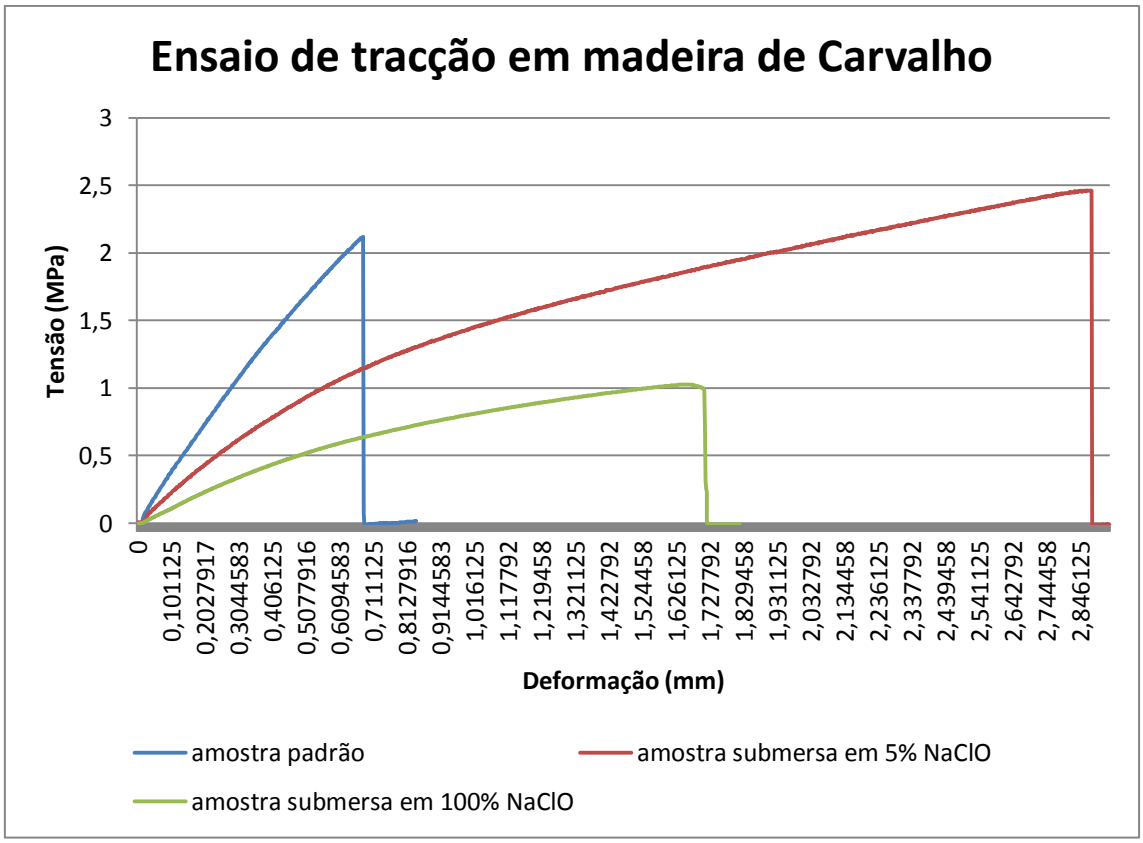


Gráfico 32 - Resultado Tensão/Deformação do ensaio de tracção de madeira de Carvalho referente à amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Observando o gráfico 32, comprova-se a análise visual efectuada numa primeira etapa, no qual é possível verificar que as propriedades mecânicas da amostra submersa em 5% e 100% de NaClO foram afectadas, verificando-se de imediato um alongamento significativamente maior das amostras submersas em solução de NaClO, quando comparado à amostra padrão. Visualmente, na madeira de Carvalho, as amostras submersas em 5% e 100% de NaClO apresentaram degradação, comprovando os resultados realizados através de outras análises efectuadas neste estudo, as quais indicaram que material sofreu ataque por parte da solução de NaClO. Contudo, podemos verificar que as três amostras mostram comportamentos semelhantes, mas com resultados diferentes, apresentando-se de uma forma geral como um material frágil. Atingindo a força máxima, podemos comprovar a análise visual efectuada inicialmente às amostras, podendo-se verificar através do gráfico 32 que o material não apresenta estricção.

Tabela 69 - Valores atingido pela madeira de Faia na força máxima e na força de rotura durante o ensaio de tracção da amostra padrão e das amostras submersas três meses em 5% NaClO e 100% NaClO

Valores atingidos pelo material no ponto de força máxima				
Amostra	F max (N)	Área (mm^2)	σ max (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	339,015	160	2,11	0,68
5% NaClO	394,185	160	2,46	2,86
100% NaClO	164,477	160	1,02	1,65
Valores atingidos pelo material no ponto de rotura				
Amostra	F rot (N)	Área (mm^2)	σ rot (MPa)	Deslocamento (mm)
Padrão	338,92	160	2,11	0,69
5% NaClO	393,454	160	2,11	2,88
100% NaClO	118,780	160	1,28	1,71

A tabela 69 acima apresentada mostra os valores atingidos pelo material no ponto de força máxima e de rotura em cada amostra, em função da área transversal da mesma.

Esta tabela comprova a análise efectuada através do gráfico, podendo-se verificar que a amostra submersa em 5% NaClO apresentara valores de tensão máxima e de rotura, próximos dos valores obtidos pela amostra padrão. No entanto, comprova-se a presença de alongamentos maiores quando comparado à amostra padrão. Como seria de esperar, a amostra submersa em 100% NaClO apresentou valores de tensão máxima e de rotura inferiores as restantes amostras, assim como um alongamento compreendido entre a amostra padrão e a amostra submersa em 100% de NaClO, significando maior degradação quando comparado à amostra submersa em 5% NaClO.

Importa referir, que estas amostras tiveram um comportamento esperado, visto que as amostras submersas em solução de NaClO apresentaram resultados de alongamento mais elevados, quando comparado com a amostra padrão, reflectindo-se nos valores obtidos no ensaio de tracção.

3.9. Análise Custo-Benefício

Neste estudo, verificou-se que as perdas económicas causadas pela degradação tem sido estimados a valores bastante elevados. Nesta análise, é possível dividir os custos devido à corrosão em dois grupos:

- Custos directos;
- Custos indirectos.

Os custos directos podem ser correctivos ou preventivos. Oc custos correctivos referem-se aos custos relativos à reparação ou substituição dos componentes ou equipamentos corroídos, tais como tubagens, acessórios, etc., assim como os possíveis danos causados aos equipamentos ou componentes, nos quais irá ser derramado NaClO, provocando degradação dos mesmos. Os custos directos preventivos, referem-se aos gastos efectuados com a utilização de materiais mais resistentes, que apresentam custos geralmente mais elevados, assim como a utilização de protecções superficiais, protecção catódica, entre outros. Tendo em conta que as concentrações de cloro não são fixas, e que a corrosão depende igualmente de outros factores, não é possível conhecer as velocidades de corrosão. O desconhecimento das velocidades de corrosão, não permite então uma estimativa certa da vida útil de um equipamento ou componente, levando a um dimensionamento excessivo dos mesmos.

Igualmente importantes, são os custos indirectos devido à corrosão. Os custos de paragem devido à degradação de um componente ou equipamento, pode levar a paragem de instalações, a qual pode apresentar um custo muito superior quando comparado à reparação ou substituição dos equipamentos ou componentes danificados, em tempo devido, para que este facto seja evitado. O preço aproximado do m^3 de água tratada encontra-se presente na tabela 70:

Tabela 70 - Preçário da água potável em Vale de Cambra

Preço da água potável	
Consumo (m^3)	Preço €
1-5	0,38
5-15	1,21
15-25	1,71
>25	2

Tendo em conta a tabela acima apresentada, cujo valor de custo médio é de 1,33 €, e que uma electrobomba de elevação instalada na E.T.A de Vale de Cambra envia uma média de 120 m^3/h, podemos verificar que, em caso de paragem por um período de tempo de uma hora, irá representar um custo de 160 €. Nas piscinas municipais, a perda pode ser verificada principalmente na entrada dos utilizadores, onde um bilhete custa cerca de 2,60 €, e verifica-se aproximadamente 240 entradas, o que representa 572 € diários. Outros factores a ter em conta nos custos indirectos, refere-se ao custo dos produtos utilizados, principalmente o cloro, que irá ser perdido na ocorrência da rotura. Os custos totais devidos à corrosão podem ser diminuídos através da adopção de medidas preventivas de corrosão, implicando um aumento nos custos directos preventivos, reflectindo-se no entanto, de uma forma positiva, sobre os dois outros tipos de custos referidos. Tendo em conta estes custos, e a selecção de materiais realizada para uma possível substituição de componentes e equipamentos na E.T.A e nas piscinas municipais de Vale de Cambra, podemos salientar o duplex 14462, e o PEAD com uma avaliação muito próximos. No entanto, o PVC e o PP, apresentaram igualmente valores consideravelmente bons, para os requisitos pretendidos. Tendo em conta os resultados obtidos, a minha escolha passaria pela utilização Duplex 14462 e do PEAD, dependendo do local de instalação. A justificação passa pela maior resistência do material ao impacto, que em diversos locais torna-se importante, devido ao possível impacto com alguns componentes, devido à negligência dos operadores. No entanto, em outros locais, pode ser aplicado o PEAD, que tendo em conta os requisitos iniciais, apresentam um bom comportamento ao contacto com NaClO, apresentando um custo bastante mais baixo que o Duplex 14462. Importa igualmente referir que a substituição de material, implica acessórios de ligação, sendo mais baratos no PEAD. Este facto apresenta vantagem em relação ao Duplex, visto não ser uma material com potencial eléctrico, não havendo perigo de corrosão por fendas nas zonas roscadas, ou mesmo nas zonas de soldadura. No entanto, importa voltar a referir que o Duplex 14462 não apresentou uma variação significativa no seu comportamento, quando submetido a condições de imersão, em solução estagnada. Podemos então concluir que, tendo em conta o valor de possíveis roturas ocorridas devido à corrosão, é evidente a escolha de um investimento inicial mais elevado, para a selecção de um material adequado, transformando-se em ganho a médio e longo prazo.

4. Conclusões

Sendo o capítulo desta tese, e por consequência o seu assunto principal, **o estudo da corrosão provocada pelo cloro, e a procura de materiais alternativos**, importa referir que este estudo foi realizado com materiais acessíveis em termos de custos, sendo possível para qualquer entidade, a alteração de qualquer material instalado por um dos materiais estudados. As avaliações foram realizadas sem qualquer preparação, tendo como objectivo o estudo de materiais sujeitos ao contacto directo com diversas soluções de NaClO, mantendo condições que ocorrem geralmente em situações reais de utilização.

Neste estudo, foi possível concluir que nem sempre os materiais mais caros são os melhores, e que não existe materiais bons e materiais maus, mas sim que é indispensável a realização de um estudo adequado. Por exemplo, é sabido que o aço inoxidável 321 é mais caro que o aço inoxidável 316L, e contem titânio, que é extremamente resistente à maioria dos agente químicos, no entanto, nesta tese foi possível verificar que o aço inoxidável 316L reagiu melhor ao ataque provocado pela solução de NaClO, quando comparado com o aço inoxidável 321.

Todas as diluições de ensaio utilizadas neste trabalho (2%, 5%, 25%, 50% e 100%), foram eficientes na aceleração do processo de corrosão, porém, foram distintos os resultados obtidos. Nas amostras submersas em concentrações mais elevadas de NaClO, verificou-se maior degradação dos materiais, como seria de esperar.

O ensaio de imersão mostrou-se capaz de acelerar o processo corrosivo, devido à elevada agressividade, apresentando falhas geralmente encontradas, necessitando de apenas dois dias para se observar diferença entre as amostras, comprovando que este ensaio é apropriado sempre que haja necessidade de respostas rápidas.

Nesta tese, comprovou-se que os estados avançados de degradação devem-se à elevada concentração de hipoclorito de sódio, contudo, não se pode esquecer outros factores como o pH e a temperatura, por exemplo, também têm influência no ataque.

Inspecção visual

De uma forma geral, pode-se concluir que existem materiais que apresentam sinais de degradação a olho nu, enquanto outros não, mesmo a corrosão estando presente.

Concluímos igualmente que, nas amostras de madeira, o teor de NaClO diminuiu num curto espaço de tempo, devido ao consumo de NaClO provocado pela matéria orgânica

comprovando a análise referida no estudo teórico. Pelo contrário, as amostras metálicas e poliméricas mantiveram sempre um elevado teor de cloro.

Através da análise visual, foi possível observar que o aço inoxidável 316L e o aço inoxidável 321 apresentaram degradação com o decorrer do tempo, transformando o material em produto d corrosão. Visualmente, as amostras dos dois materiais mostraram comportamentos semelhantes.

Contrariamente ao aço inoxidável 316L e 321, o Duplex 14462 não apresentou qualquer sinal de degradação, quer nas amostras retiradas após três semanas de imersão, quer nas amostras retiradas após três meses, indicando que resiste melhor ao ataque corrosivo por parte da solução de NaClO.

Nos materiais metálicos, mais precisamente no aço inoxidável 316L e 321, não se verificou visualmente uma diferença significativa de comportamento entre as amostras retiradas após três semanas de imersão e as amostras retiradas após três meses de imersão.

Nas amostras poliméricas, não foi possível identificar qualquer sinal de degradação, quer nas amostras retiradas após três semanas de imersão, assim como nas amostras retiradas após três meses, comprovando igualmente a extrema necessidade de outras formas de avaliação.

Nas amostras de madeira, foi possível concluir de imediato que as amostras de madeira iriam sofrer degradação num curto espaço de tempo, através de índices, como a mudança de cor das amostras, a alteração de cor da solução, a absorção de solução, a diminuição das dimensões da amostra, entre outras.

Na madeira, ao contrário dos materiais poliméricos, verificou-se visualmente uma diferença significativa entre as amostras retiradas após três semanas de imersão e as amostras retiradas após três meses de imersão. Conclui-se ainda que os materiais apresentam maior dificuldade na rejeição de NaClO, quando comparado com a rejeição de água

As amostras de madeira apresentaram maior degradação em concentrações mais altas, verificando-se perda significativa de material em concentrações acima de 50% de NaClO.

Variação de massa

Pode-se concluir que o Duplex 14462 é o que apresenta os melhores resultados nesta experiencia, visto apresentar uma variação de peso regular em qualquer concentração de NaClO. No entanto, verifica-se alguma concorrência por parte do aço inoxidável 316L e do aço

inoxidável 321, quando se encontram em contacto com pequenas concentrações de hipoclorito de sódio. Podemos também concluir que, após três meses, o Duplex 14462 apresenta valores de variação de peso próximo dos valores apresentados pelas amostras retiradas após três semanas, enquanto o aço inoxidável 316L e o aço inoxidável 321 sofreram maior variação de peso com o aumento do tempo. Podemos concluir que o Duplex 14462 é o material que melhores resultados apresentou ao longo de toda a avaliação, sendo no entanto concorrido pelo aço inoxidável 316L, quando se encontra em pequenas concentrações de NaClO. O aço inoxidável 321 foi o que reagiu menos bem ao ataque corrosivo, perdendo mais peso que os restantes materiais, agravando-se bruscamente após três meses de imersão.

Pode-se igualmente concluir e comprovar que os aços inoxidáveis contendo molibdénio reagem melhor ao NaClO que os aços inoxidáveis contendo titânio.

Analisando as amostras poliméricas retiradas após três meses de imersão, podemos concluir que, de uma forma geral e contrariamente às amostras retiradas após três semanas de imersão, nem todas as amostras poliméricas sofreram aumento de peso, significando maior degradação ao longo do tempo, traduzida por uma menor relação Absorção/perda de material. No entanto, de uma forma geral, as amostras de PVC e PP tiveram uma menor variação de peso quando comparado à amostra PEAD. As amostras PVC e PP tiveram um comportamento coerente ao longo dos relutados obtidos nesta avaliação. Podemos concluir que todos os materiais em estudo apresentaram comportamentos diferentes entre eles. No entanto, verificou-se que após três meses de imersão alguns materiais poliméricos sofreram perda de peso/menor aumento de peso em algumas amostras, e tendo em conta que este facto se deve a uma maior degradação por parte dos materiais, podemos concluir que o PVC reagiu melhor ao hipoclorito de sódio em praticamente todas as concentrações, visto não se verificar uma variação de peso tao elevada quando comparado com os restantes materiais. Após três meses, e de uma forma geral, podemos também concluir que, o peso das amostras diminui conforme a concentração de hipoclorito de sódio aumenta, devido a degradação. Pelo contrário, nas amostras retiradas após três semanas de imersão, verificou-se uma maior variação de peso conforme o aumento da concentração de NaClO, significando que o material absorveu fluido e teve mais dificuldade em libertar o NaClO que a água.

Podemos igualmente concluir, que a degradação dos polímeros aumenta com o período de tempo do material exposto a um meio corrosivo, assim como com o aumento do teor de agente corrosivo utilizado.

Analisando as amostras de Faia, podemos verificar que, ao contrário das amostras retiradas após três semanas de imersão, o material não sofreu um aumento de peso em todas as

amostras. O aumento da variação de peso é causado pela absorção de líquido por parte do material, aumentando constantemente de uma forma geral, com o aumento da concentração de hipoclorito de sódio. Nas amostras de Carvalho, podemos verificar que o material sofreu um aumento de peso em todas as amostras, mantendo um comportamento semelhante às amostras retiradas após três semanas de imersão.

Podemos concluir que a madeira não consegue manter a forma e o peso inicial, tornando-se perigos em certas aplicações. No entanto, verificou-se maior degradação do material em concentração de NaClO acima de 50%, apresentando comportamentos semelhantes nas amostras retiradas após três semanas de imersão, assim como nas amostras retiradas após três meses de imersão.

Podemos ainda concluir que a madeira pode ser utilizada com concentrações muito baixas de NaClO, mantendo sempre atenção a uma possível degradação brusca, conforme se verificou nas amostras submersas. Não é aconselhado, como seria de esperar, a utilização de madeira em contacto com NaClO.

Microscopia óptica

Comparando os materiais metálicos analisados, podemos concluir que se confirmam as analises já realizadas anteriormente através de análise visual. De uma forma geral, as amostras submersas em concentrações de 100% de hipoclorito de sódio apresentaram maiores sinais de degradação que as amostras submersas em concentrações de 2% de hipoclorito de sódio. Contudo, confirma-se através desta avaliação, que o Duplex 14462 é o material que apresenta melhor resistência à corrosão.

Nos materiais poliméricos, podemos também concluir que o PEAD é o material em que se verifica uma maior distinção de degradação entre as amostras submersas em concentração de hipoclorito de sódio de 2% e de 100%. De uma forma geral, nenhum destes três materiais apresenta sinais críticos de degradação. O PVC mostra ser o material polimérico que menos apresentou sinais de degradação na apresentação visual em microscopia óptica.

Podemos também concluir que se verificou a presença de uma maior quantidade de sinais de degradação, assim como a presença de agente causadores da degradação, nas amostras submersas durante um maior espaço de tempo, e em maior concentração de NaClO, quer em materiais metálicos, quer em materiais não metálicos. De uma forma global, podemos concluir que todos os materiais sofreram ataque por parte do NaClO.

Microscopia electrónica

Comparando as amostras de aço inoxidável 316L, aço inoxidável 321 e Duplex 14462 retiradas após três meses, com a amostra dos mesmos materiais retirada apos três semanas de imersão, podemos constatar, como já seria de esperar, que a amostra de aço inoxidável 316L e de aço inoxidável 321 retirada após três meses de imersão comprovam as análises visuais e por perda de peso já realizadas anteriormente, nas quais foi possível observar indicadores de maior degradação. Pelo contrário, o Duplex 14462, não apresentou sinais de degradação.

Através de esta avaliação, considera-se o Duplex 14462 como o material metálico que melhor resiste ao ataque de NaClO, reforçando os resultados obtidos através de outras avaliações.

Tendo em conta que foram efectuadas avaliações em períodos de tempo diferentes, e que as condições do meio em que se encontravam submersas as amostras foram semelhantes, pode-se concluir mais uma vez que a degradação dos materiais é influenciada pelo período de tempo de exposição ao agente agressivo, ou seja, aumenta ao longo do tempo.

Comparando as amostras de PVC, PEAD e PP retiradas após três meses, com a amostra dos mesmos materiais retirada apos três semanas de imersão, podemos constatar, que ambas as amostras retirada após três meses de imersão comprovam as análises por variação de peso já realizadas anteriormente, nas quais foi possível observar indicadores de maior degradação.

Com esta análise, é possível comprovar o aumento de peso e perda de material observado nas avaliações por perda de massa e análises visuais realizadas anteriormente. Podemos observar que a madeira de Faia e de Carvalho, com três meses de imersão apresentam um aspecto de maior degradação quando comparado com as amostras retiradas com três semanas de imersão, comprovando nos dois casos a perda de material observado na análise visual.

Pode-se se ainda concluir, que o facto das amostras submersas em elevada concentração de NaClO apresentarem uma coloração mais escura, e um período de tempo de secagem elevado, deve-se ao facto da retenção e rejeição dos sais de NaClO contidos nas amostras.

Espectrometria

Nos resultados observados nas amostras retiradas após três semanas de imersão, foi possível verificar que a variação química das três amostras não foi significativamente diferente. Foi possível concluir, que os elementos que oferecem maior resistência à corrosão dos materiais, sofreram de uma forma geral, uma variação media, entre 1% e 10%.

Pelo contrário, nas amostras retiradas após três meses de imersão, verificou-se uma maior dispersão dos elementos químicos. Pode-se concluir então, que um período de tempo maior em contacto com um agente agressivo, altera cada elemento químico contido nos materiais, alterando desta forma todo o comportamento do material.

Podemos ainda confirmar através deste tipo de avaliação, que o molibdénio proporciona maior resistência ao material (utilizado como um dos elementos principais no aço inoxidável 316L e no Duplex 14462), quando comparado com o titânio (utilizado como um dos elementos principais no aço inoxidável 321). No entanto, a resistência à corrosão nos materiais deve-se a um conjunto de elementos químicos, e não apenas a um elemento em concreto.

Ensaio de tracção

Os ensaios de tracção realizados em amostras metálicas permitiram, de forma clara, identificar e conhecer as propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis 316L, 321 e Duplex 14462. Através deste tipo de avaliação, foi possível verificar as diferenças nos resultados obtidos entre as amostras. Nas amostras de aço inoxidável 316L e 321, foi possível verificar a diminuição dos valores de tensão máxima e do seu alongamento, significando que o material sofreu ataque por parte da solução de NaClO.

Nesta avaliação, pode-se ainda concluir que o Duplex 14462, é o material que melhor resistiu à tracção, visto que as suas propriedades mecânicas se mantiveram semelhantes, independentemente das concentrações de NaClO utilizadas, assim como nos dois períodos de tempo estipulados. O ensaio de tracção comprova as restantes avaliações efectuadas, afirmando o Duplex 14462 como o material metálico mais adequado para a utilização em meio contendo NaClO.

A avaliação visual das amostras poliméricas utilizadas nos ensaios de tracção permitiu observar que todas as fracturas das amostras submersas em solução de NaClO ocorreram na parte superior dos mesmos, porém ainda na área de comprimento útil, à excepção das amostras que não apresentaram rotura, e da amostra de PEAD que apresentou uma anomalia na área lateral.

A amostra de PEAD defeituosa, mostrou-se interessante para provar que um pequeno defeito na amostra compromete toda a sua resistência, sendo necessário verificar e cuidar atentamente de todos os matérias utilizados em qualquer instalação.

Comparando as amostras de PVC com as amostras de PEAD e de PP, podemos concluir que estes dois materiais referidos ultimamente apresentam maior elasticidade, visto terem

apresentado um alongamento sem rotura na maioria das amostras. Entre o PEAD e o PP, podemos concluir que as amostras de PEAD resistiram melhor ao contacto com NaClO, visto que após três meses de imersão, ocorreu rotura nas duas amostras de PP, apresentando rotura com alguma fragilidade. A amostra de PVC, foi a que apresentou menor alongamento, no entanto, apresentou maior tensão máxima, contudo muito inferior às tensões apresentadas pelos materiais metálicos.

Podemos igualmente concluir que nesta avaliação, podemos considerar que o PVC é o material mais interessante, tendo em conta que suporte uma tensão máxima superior aos restantes materiais.

Nos ensaios de tracção para determinação das propriedades mecânicas das amostras de madeira, verificou-se um baixo domínio elástico, como seria de esperar, justificado pelo elevado teor de humidade contido nas amostras.

De uma forma geral, pode-se concluir que as amostras de Faia apresentaram melhor comportamento que a madeira de Carvalho, considerando características como a variação de peso, tensões e deformações. Estes factores não se comprovam nas amostras submersas em 100% de NaClO, visto que as amostras de faia submersas em 100% de NaClO foram consideradas nulas no realização de ensaio de tracção, sendo mesmo realizadas em condições diferentes das restantes amostras devido ao elevado estado de degradação em que se encontravam.

No que diz respeito à variação dimensional das amostras, os dois tipos de madeira apresentaram um comportamento semelhante. Em ambas as madeiras, verifica-se a tendência de melhorar o seu comportamento na presença de humidade, ou seja, os seus valores de tensão e deformação crescem com o aumento da humidade contida na amostra.

Podemos finalmente concluir, que nenhum tipo de madeira estudado é adequado para o contacto com NaClO, no entanto, relativamente ao comportamento verificado no ensaio de tracção, a madeira de Faia apresentou melhores resultados.

Conclusões finais

De uma forma geral, podemos confirmar que, entre os materiais metálicos, o Duplex 14462 destaca-se dos aços inoxidáveis 316L e 321, apresentando melhores resultados, quer nas amostras retiradas após três semanas, assim como nas amostras analisadas após três meses de imersão.

Nos materiais poliméricos, pode-se concluir que os comportamentos foram semelhantes em ambas as amostras, verificando-se um aumento da degradação nas amostras submersas após três meses de imersão, quando comparado às amostras retiradas após três semanas de imersão.

A madeira apresentou sinais de elevada degradação, principalmente em concentrações acima de 50%. Verificou-se no entanto maior degradação nas amostras retiradas após três meses de imersão, quando comparado às amostras retiradas após três semanas de imersão. Pode-se concluir, que a madeira apresentou menor resistência ao ataque provocado pela solução de NaClO, quando comparado aos restantes materiais.

Confrontando todos os materiais, pode-se concluir que o Duplex 14462 é o material preferível para o contacto com NaClO, independentemente do tempo em contacto, assim como da concentração utilizada.

5. Bibliografia e Outras Fontes de Informação

1. AMBIENTE, E., *Manual de instruções e funcionamento da ETA de Padrastos*, 1998.

2. LEAL, E.D.S., *Modelagem da degradação de cloro residual livre em sistema de adução de água de abastecimento de porte médio*, in *Universidade federal de Campina* 2012.

3. FARIA, A.C., *Piscinas*, in *Instalações de tratamento de água*, I.P. Instituto Português do Desporto e Juventude, Editor 2012.

4. REIS, J., *Segurança no trabalho*, 1996.

5. MEYER, S.T. *Uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais a saúde publica*. 1994.

6. MORAES, P.D.P.B., *cloro residual em águas*, 2006.

7. QUIMITÉCNICA, *Ficha técnica dos produtos*, 2014.

8. PONTE, D.A.D.A., *fundamentos da corrosão*, 2009.

9. SILVA, J.N.S.D., *Incidências de manifestações patológicas*, in *Engenharia civil*2008.

10. PANNONI, F.D., *Principios da protecção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incendio.* 2007.

11. PIMENTA, G.D.S., *corrosão.* 2009.

12. ITMAN, P.A., *A corrosão nos materiais*, 2010.

13. MEDEIROS, P.D.M., *Electroquimica e corrosão metalica*, 2006.

14. PAULO, E.P.D.U.D.S., *Corrosão e degradação dos materiais*, 2005.

15. SALTA, M.M., *Desempenho de materiais metalicos em edificios.* 2006.

16. GENTIL, V., *Corrosão*. 1996.

17. CASIMIRO, P.J.N., *Materiais de contacto com água para consumo humano, mecanismos de degradação e contaminação*, in *Engenharia dos materiais*2011, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

18. SHREIR, L.L., *Corrosion volume 1 e 2* 1994.

19. CABRÓ, E.H.M., *Aço Inoxidável, aplicações e especificação*, in *Núcleo Inox*2001.

20. RODRIGUEZ, R.M.H.P., *Formação de oxidos nos revestimentos de aluminio depositados por apersão térmica*, in *Engenharia e Ciência dos Materiais, Setor de Tecnologia*2003, Universidade Federal do Paraná.

21. SANTOS, W.I.A.D., *Caracterização da resistência à corrosão das ligas de aluminio após tratamentos alternativos á cromatização, com e sem revestimento orgânico*, in *Ciências na area de tecnologia nuclear*2011, Universidade de São Paulo.

22. VENTURA, A.M.M.F., *Os compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas.* 2009.

23. COSTA, A.R.D., *Desenvolvimento de modelo de selecção de materiais aplicando uma abordagem logística: o caso do sector minerometalurgico*, 2012.

24. INFOPÉDIA, *Análise custo-beneficio*, in *Porto Editora*2015.

25. GONÇALVES, R.M.P., *Evolução dos sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais*, 2013.

26. PERES, F.A.S., *Tratamento de águas de refrigeração com péroxido de hidrogénio.* 2008.

27. DEDAVID, B.A., *Microscopia electronica de varredura*, in *APLICAÇÕES E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS*, P. ALEGRE, Editor 2007.

28. ROMEIRO, S.B.B., *Quimica na siderurgia.* 1997.

29. UNICAMP, F.D.E.M., *Relatério de ensaio de tracção com materiais poliméricos*, 2007.

30. BORGES, P.C.B., *Caraterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de carvalho e de castanho do nordeste transmontano*, 2013, Instituto Politécnico de Bragança.

Outras fontes de informação:

http://ruyalexandre.zzl.org/arquivos/engcor4cormet.pdf (consultado em 12-10-2014)

http://www.cuf.pt/irj/cuf/pt (consultado em 18-09-2014)

http://www.epal.pt/EPAL/menu/produtos-e-servi%C3%A7os/laborat%C3%B3rios-de-ensaio-e-amostragem/ensaios-realizados/matriz-produtos-de-tratamento (consultado em 12-10-2014)

http://ct90.lnec.pt/texto/SC1_GT3.html (consultado em 24-02-2015)

http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf (consultado em 19-01-2015)

file:///C:/Users/Bruno/Downloads/Projeto_Regulamento_CPEAMCA.pdf (consultado em 14-10-2014)

http://www.agracadaquimica.com.br/index.php?&ds=1&acao=quimica/ms2&i=9&id=673 (consultado em 14-10-2014)

http://www.pmoscon.com/Materiais/Corros%C3%A3oAula2.pdf (consultado em 09-12-2014)

http://www.quimidrol.com.br/site/pt/dicas/?l=quimico&d=217 (consultado em 05-11-2014)

http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Quijmica/44933497.html (consultado em 05-11-2014)

https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/corrosao (consultado em 28-03-2015)

6. Anexos

ANEXOS DO ESTUDO DA CORROSÃO PROVOCADA
PELO CLORO E PROCURA DE MATERIAIS ALTERNATIVOS

Índice de anexos

ANEXO I

Fichas de especificação dos agentes químicos

Ficha de especificação do Cloro Liquido:

CUF QUÍMICOS INDUSTRIAIS	**Ficha de Especificação** Sistema de Gestão Integrado	Documento Informatizado DT-203-003
Cloro Líquido		

Características dos Produtos à Saída da Fábrica

DESCRIÇÃO FÍSICA:

Gás verde amarelado com cheiro irritante.

PROPRIEDADES:

Estado Físico (20º C)	Gasoso
Temperatura de Ebulição	-34,1 º C (760 mm Hg)
Temperatura de Solidificação	-102 º C (760 mm Hg)
Temperatura Crítica	144 º C
Pressão Crítica	77,1 bar
Tensão de Vapor (20º C)	6,695 bar
Densidade do Gás (ar=1)	2,49
Densidade do Líquido (20º C)	1,409
Solubilidade em Água (20º C)	7,3 g/l

ESPECIFICAÇÃO:

	Máximo	**Método**
Resíduo não volátil (ppm)	120	MET-80-061
NCl_3 (ppm)	20	MET-80-066

IDENTIFICAÇÃO:

Nº CE (do EINECS)	231-959-5
Nº CAS	7782-50-5
UN	1017
Código NC	2801-10-00
Nº de Índice CE	017-001-00-7

Impressão Não Controlada Data de Actualização: 01-09-14 Data de Impressão : 01-09-14

Quinta da Indústria, Beduído, 3860-680 Estarreja
VERSÃO:04
Página: 1/1
TLF: 234 810 300 - Fax: 234 810 321
quimicos.industriais@cuf-qi.pt
www,cuf-qi.pt

Ficha de especificação do Soda Caustica Liquida:

CUF QUÍMICOS INDUSTRIAIS	**Ficha de Especificação** Sistema de Gestão Integrado	Documento Informatizado DT-203-005
	Soda Cáustica Líquida	

Características dos Produtos à Saída da Fábrica

DESCRIÇÃO FÍSICA:

Líquido incolor sem cheiro.

PROPRIEDADES:

Temperatura de Ebulição	143º C
Temperatura de Congelação	10º C
Tensão de Vapor (20º C)	100 Pa
Tensão de Vapor (60º C)	1,5 Pa
Viscosidade (20º C)	75 m Pa.s
Solubilidade	Em água e álcoois, não solúvel em solventes orgânicos.

ESPECIFICAÇÃO:

	Especificação	Máximo	Método
Concentração em NaOH (%)	≥ 48,5	50,5	MET-80-020
Carbonato de Sódio – Na_2CO_3 (%)	≤ 0,20	----	MET-80-017
Cloreto de Sódio – NaCl (ppm)	≤ 150	----	MET-80-015
Ferro – Fe (ppm)	≤ 7	----	MET-80-012
Sulfato de Sódio – Na_2SO_4 (ppm)	≤ 3	----	MET-80-007
Densidade (20º C)	≥ 1,51	1,53	MET-80-020

IDENTIFICAÇÃO:

Nº CE (do EINECS)	215-185-5
Nº CAS	1310-73-2
UN	1824
Código NC	2815-11-/1
Nº de Índice CE	011-002-00-6

Impressão Não Controlada Data de Actualização: 01-09-14 Data de Impressão : 01-09-14

Quinta da Indústria, Beduído, 3860-680 Estarreja TLF: 234 810 300 - Fax: 234 810 321
quimicos.industriais@cuf-qi.pt
VERSÃO: 04 Página: 1 / 1 www.cuf-qi.pt

Ficha de especificação do Hipoclorito de sódio:

CUF QUIMICOS INDUSTRIAIS	**Ficha de Especificação** Sistema de Gestão Integrado	Documento Informatizado DT-203-004
Hipoclorito de Sódio		

Características dos Produtos à Saída da Fábrica

DESCRIÇÃO FÍSICA:

Líquido amarelo claro, com odor acre e completamente miscível em água.

PROPRIEDADES:

Solubilidade	Em água, Etanol ou Acetona

ESPECIFICAÇÃO:

	Especificação	Valor Típico	Método
Concentração em Cloro Activo (g/l)	≥ 160	170	MET-80-004
Concentração em Cloro Activo (% w/w)	≥ 13,0	14,0	MET-80-004
Alcali Livre (g/l de NaOH)	≥ 5	10	MET-80-018
Ferro – Fe (ppm)	≤ 1	0,3	MET-80-012
Densidade (20º C)	≥ 1,20	1,23	Densímetro

IDENTIFICAÇÃO:

Nº CE (do EINECS)	231-668-3
Nº CAS	7681-52-9
UN	1791
Código NC	2828-90-00
Nº de Índice CE	017-011-00-1

Impressão Não Controlada Data de Actualização:01-09-14 Data de Impressão : 01-09-14

Quinta da Indústria, Beduído, 3860-680 Estarreja TLF: 234 810 300 - Fax: 234 810 321
quimicos.industriais@cuf-qi.pt
VERSÃO: 06 Página: 1 / 1 www.cuf-qi.pt

Ficha de especificação do Soda Caustica Liquida:

LOCRON S®

Floculante sólido especial para o tratamento de água potável, industrial e residual
Produto número: P03121350

LOCRON S é um floculante especialmente formulado para o tratamento de água potável, industrial e residual. Trata-se de uma solução a 50% de um produto à base de hidroxicloreto de alumínio em flocos.

Aspecto	Sólido, escamas finas
Teor de Al_2O_3	aprox. 48%
Basicidade	aprox. 83 %
Cloro	aprox. 16,3
Composição Média	$Al_2(OH)_5Cl.2\text{-}3\ H_2O$
Miscibilidade	miscível com a água até 60 % em massa (aprox.)

Modo de actuação
LOCRON S reage a valores de pH superiores a 5, provocando a precipitação dos compostos de hidróxido de alumínio. Salientamos o uso de **LOCRON S** na clarificação de água por floculação. Devido à sua estrutura de complexo polinuclear de alumínio, o **LOCRON S** forma rapidamente aglomerados de flocos, melhor e muito mais rapidamente do que os sais monoméricos solúveis de alumínio, tais como o sulfato de alumínio, que podem ser usados comparativamente. Esta propriedade torna o **LOCRON S** um produto especialmente adequado para todos os tipos de reacções de floculação. A combinação de floculação e filtração, por exemplo através de um filtro de areia, produz um efeito de clarificação excelente. Através da utilização do **LOCRON S** podem ser removidas da água as seguintes substâncias:

- matérias minerais em suspensão;
- partículas coloidais;
- ácidos húmicos;
- gorduras e óleos;
- iões metálicos;
- germes e outros microorganismos.

Principais vantagens do **LOCRON S**, em relação ao sulfato de alumínio:

- Residual em alumínio, praticamente nulo, mesmo a valores pH acima de 9.
- Não altera praticamente o valor pH da água a tratar.
- Dosagens 3 a 6 vezes inferiores,dependendo da qualidade da água a tratar.

A remoção de ingredientes orgânicos reduz significativamente os valores da carência quimica de oxigénio (CQO) e a carência bioquimíca do oxigénio (CBO).

Dosagem
A quantidade de **LOCRON S** a utilizar depende do fim a que a água se destina e do grau de contaminação.O **LOCRON S** deve ser adicionado continuamente num ponto turbulento. Devido à acidez do **LOCRON S**, as bombas doseadoras, condutas e tanques de armazenamento deverão ser construídos em materiais resistentes a ácidos, tais como polipropileno, polietileno, PVC, etc.

Manipulação
Evitar o contacto com a pele, olhos e membranas mucosas e feridas abertas. Usar óculos de protecção e luvas. Em caso de contacto acidental, lavar cuidadosamente em água abundante. Para mais informações consultar a respectiva ficha de segurança.

Biologia das águas residuais
Quando utilizado nas dosagens por nós recomendadas não se verificam quaisquer efeitos adversos nos efluentes.

Embalagem
Sacos de 25 kg
Big Bags de 1000 kg.

Armazenagem:
O **LOCRON S** deve ser guardado num local seco, de forma a que a sua estabilidade não seja prejudicada, devido à absorção de humidade.

Prescrições legais:
A pureza do **LOCRON S** para o tratamento de água potável está de acordo com os parâmetros vigentes no Mercado Comum Europeu (78/633 EWG) e com os critérios de pureza da "FAO/WHO" (relatório 7 e 19).

A AquaAmbiente reserva-se o direito de mudar as especificações dos produtos sem aviso prévio

ANEXO 2

Casos de estudo

Parafusos da junta na tubagem de entrada de água do reservatório:

Caso Nº1

Imagem do estado actual:


Painel de suporte para analisadores de água:

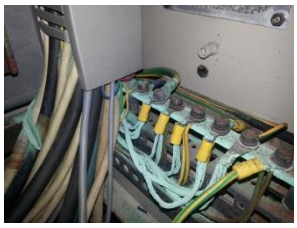
Caso Nº2

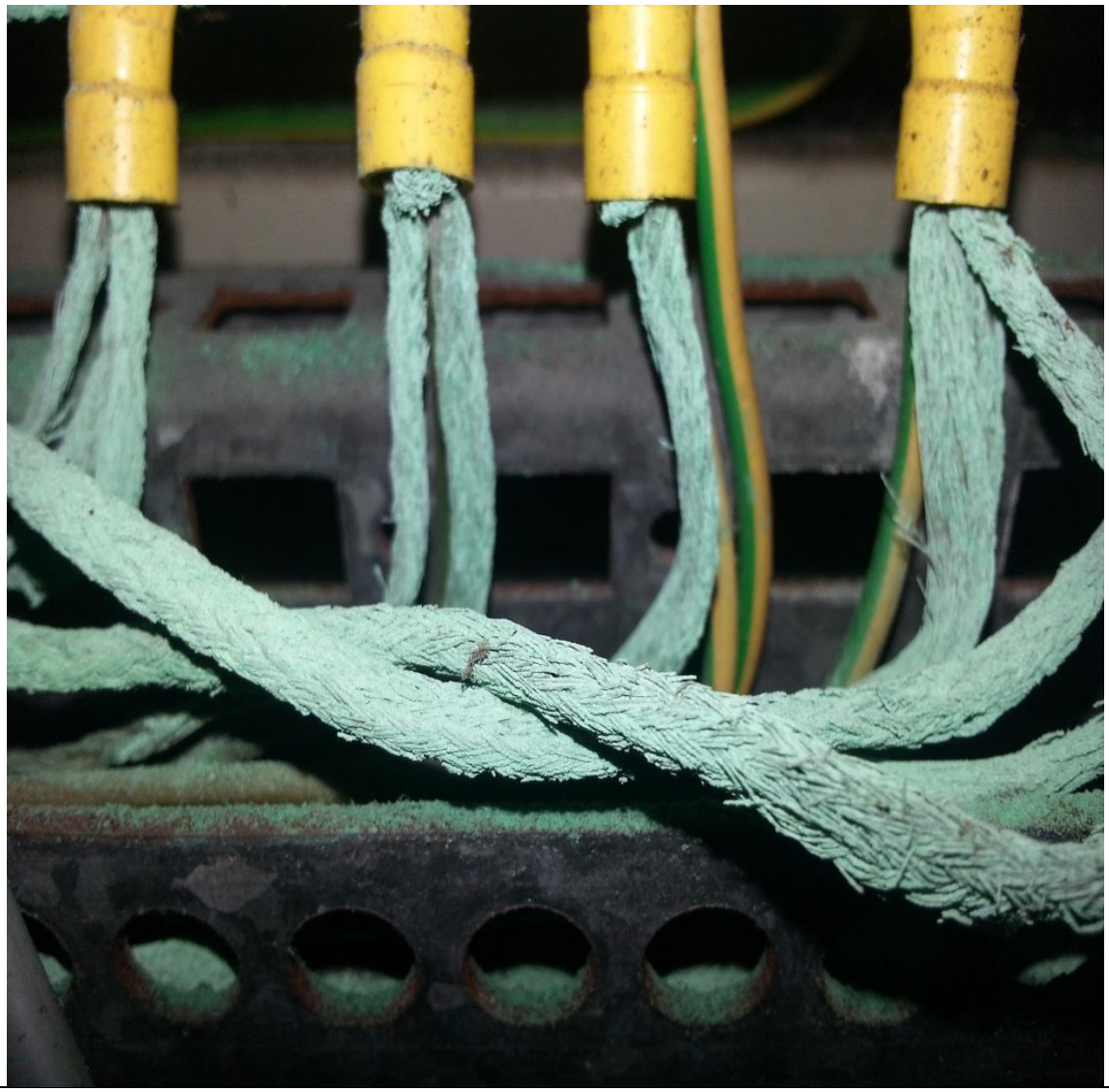
Imagem do estado actual:

Barramento e fios do quadro eléctrico principal:

Caso Nº3

Imagem do estado actual:





Válvula reguladora situada á saída da garrafa de cloro em gás:

Caso Nº4

Imagem do estado actual:

Cobertura do reservatório interno da E.T.A.:

Caso Nº5

Imagem do estado actual:

Apoio do tubo de entrada de água do reservatório:

Caso Nº6

Imagem do estado actual:

Aro de porta:

Caso Nº7

Imagem do estado actual:

Chão de reservatório:

Caso Nº8

Imagem do estado actual:


Electrobombas de elevação:

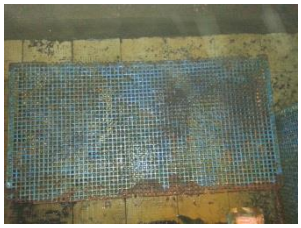
Caso Nº9

Imagem do estado actual:

Grelha de protecção das correias dos compressores de ar para lavagem dos filtros:

Caso Nº10

Imagem do estado actual:



Suporte das bombas de pressurização interna da E.T.A.:

Caso Nº11

Imagem do estado actual:


Abraçadeira metálica para suporte de tubo de aço-inoxidável:

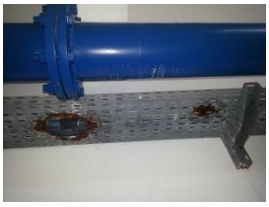
Caso Nº12

Imagem do estado actual:

Guia para tubagens de água clorada:

Caso Nº13

Imagem do estado actual:


Suporte de bomba de amostragem para analisadores de água:

Caso Nº14

Imagem do estado actual:

Tubagem de metálica de cloro em gás:

Caso Nº15

Imagem do estado actual:


Tubagem poliméricas de cloro gás:

Caso Nº16

Imagem do estado actual:

Escadas internas do reservatório:

Caso Nº17

Imagem do estado actual:

Balança:

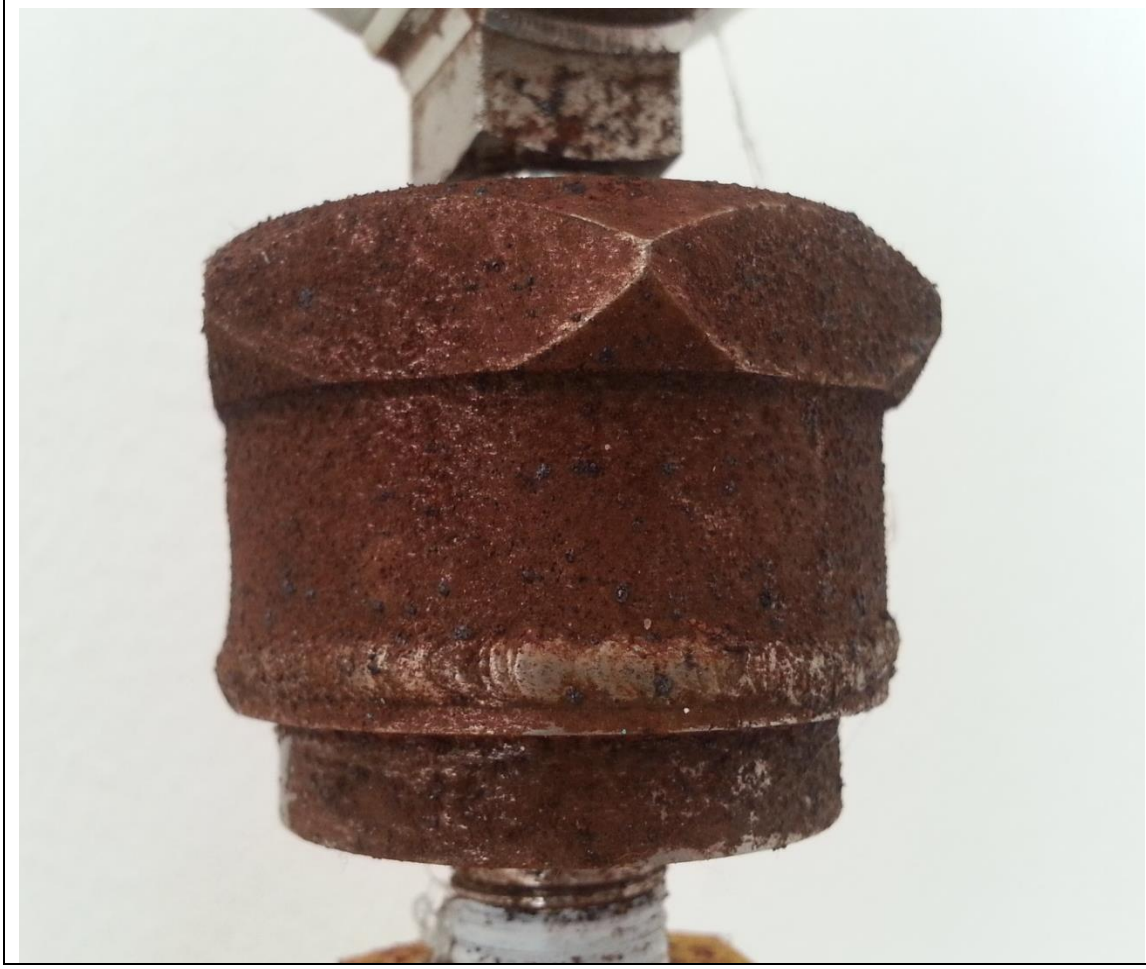
Caso Nº18

Imagem do estado actual:

Manómetro:

Caso Nº19

Imagem do estado actual:

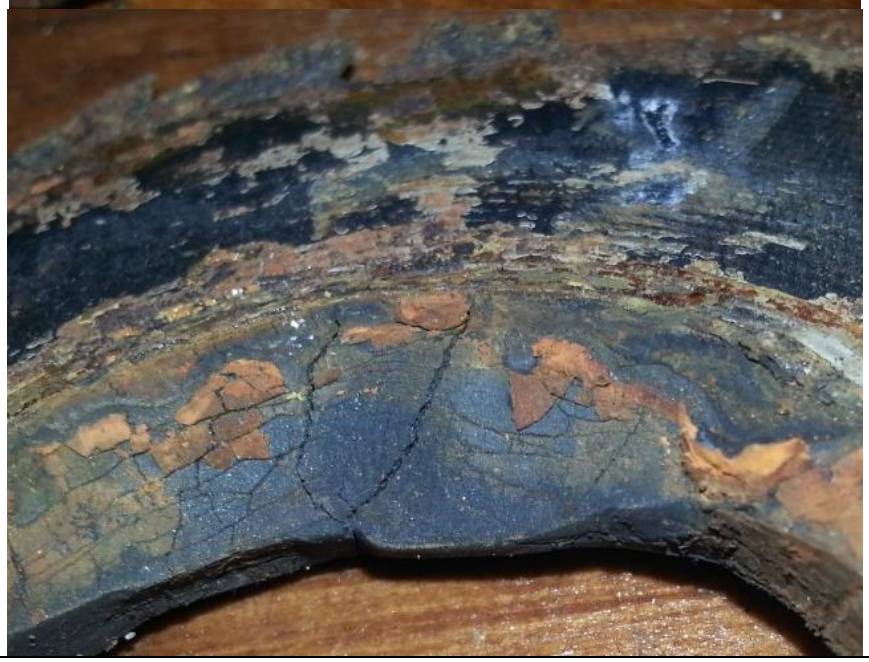


Junta de vedação:

Caso Nº20

Imagem do estado actual:





Suporte de válvulas reguladoras de cloro gás:

Caso Nº21

Imagem do estado actual:

Abraçadeira metálica:

Caso Nº22

Imagem do estado actual:

Secretaria:

Caso Nº23

Imagem do estado actual:

Suporte de tubagem e equipamento eléctrico:

Caso Nº24

Imagem do estado actual:

Electrobomba submersível:

Caso Nº25

Imagem do estado actual:


Aro de manómetro de pressão dos filtros:

Caso Nº26

Imagem do estado actual:

Torneira para amostras de água do filtro:

Caso Nº27

Imagem do estado actual:

Junção de válvula e tubagem:

Caso Nº28

Imagem do estado actual:


Parafuso para aperto de válvula:

Caso Nº29

Imagem do estado actual:


Quadro eléctrico:

Caso Nº30

Imagem do estado actual:

Suporte para tubagem de PVC:

Caso Nº31

Imagem do estado actual:

Contador de água:

Caso Nº32

Imagem do estado actual:

Cadeira:

Caso Nº33

Imagem do estado actual:

ANEXO 3

Tabelas utilizadas para a avaliação por variação de peso

Tabela utilizada para as amostras metálicas de pequenas dimensões (30 mm x 20 mm):

Aço inoxidável 316 L (30mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:	14,0975	Nº amostra:	Peso:	13,8478	Nº amostra:	Peso:	14,185	Nº amostra:	Peso:	1
3 semanas	1	Peso:	14,0952	3	Peso:	13,8454	5	Peso:	14,1833	7	Peso:	1
0 dias	Nº amostra:	Peso:	13,9459	Nº amostra:	Peso:	13,8106	Nº amostra:	Peso:	14,2335	Nº amostra:	Peso:	1
3 mês	2	Peso:	13,9438	4	Peso:	13,8089	6	Peso:	14,2312	8	Peso:	1

Aço inoxidável 321 (30mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:	19,1099	Nº amostra:	Peso:	19,2435	Nº amostra:	Peso:	19,5683	Nº amostra:	Peso:	1
3 semanas	1	Peso:	19,1055	3	Peso:	19,2371	5	Peso:	19,5459	7	Peso:	1
0 dias	Nº amostra:	Peso:	19,6642	Nº amostra:	Peso:	19,3722	Nº amostra:	Peso:	19,4821	Nº amostra:	Peso:	1
3 mês	2	Peso:	19,6251	4	Peso:	19,3303	6	Peso:	19,4268	8	Peso:	1

Duplex 14462 (30mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:	10,0138	Nº amostra:	Peso:	10,0055	Nº amostra:	Peso:	10,0696	Nº amostra:	Peso:	9
3 semanas	1	Peso:	10,0091	3	Peso:	10,0006	5	Peso:	10,0632	7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:	10,0707	Nº amostra:	Peso:	10,1901	Nº amostra:	Peso:	10,1186	Nº amostra:	Peso:	1
3 mês	2	Peso:	10,0674	4	Peso:	10,1883	6	Peso:	10,1176	8	Peso:	1

Tabela utilizada para as amostras poliméricas de pequenas dimensões (30 mm x 20 mm):

PVC (30mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:	2,5661	Nº amostra:	Peso:	2,5397	Nº amostra:	Peso:	2,655	Nº amostra:	Peso:	
3 semanas	1	Peso:	2,5674	3	Peso:	2,543	5	Peso:	2,6571	7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:	2,6254	Nº amostra:	Peso:	2,5719	Nº amostra:	Peso:	2,567	Nº amostra:	Peso:	
3 mês	2	Peso:	2,6285	4	Peso:	2,5742	6	Peso:	2,5691	8	Peso:	

PEAD (30mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:	1,7511	Nº amostra:	Peso:	1,7885	Nº amostra:	Peso:	1,7789	Nº amostra:	Peso:	
3 semanas	1	Peso:	1,7597	3	Peso:	1,7964	5	Peso:	1,7841	7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:	1,7893	Nº amostra:	Peso:	1,8049	Nº amostra:	Peso:	1,7596	Nº amostra:	Peso:	
3 mês	2	Peso:	1,7899	4	Peso:	1,805	6	Peso:	1,7583	8	Peso:	

PP (30mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:	1,7278	Nº amostra:	Peso:	1,705	Nº amostra:	Peso:	1,7357	Nº amostra:	Peso:	
3 semanas	1	Peso:	1,7283	3	Peso:	1,7064	5	Peso:	1,7374	7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:	1,7327	Nº amostra:	Peso:	1,7398	Nº amostra:	Peso:	1,7171	Nº amostra:	Peso:	
3 mês	2	Peso:	1,7336	4	Peso:	1,7404	6	Peso:	1,7172	8	Peso:	

Tabela utilizada para as amostras de madeira de pequenas dimensões (30 mm x 20 mm):

Faia (30mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:	3,9695	Nº amostra:	Peso:	3,5461	Nº amostra:	Peso:	3,9292	Nº amostra:	Peso:	[illegible]
3 semanas	1	Peso:	6,2725	3	Peso:	5,8517	5	Peso:	6,9029	7	Peso:	[illegible]
0 dias	Nº amostra:	Peso:	4,1241	Nº amostra:	Peso:	3,725	Nº amostra:	Peso:	3,5975	Nº amostra:	Peso:	[illegible]
3 mês	2	Peso:	4,1209	4	Peso:	3,8968	6	Peso:	4,0545	8	Peso:	[illegible]

Carvalho (30mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:	3,0548	Nº amostra:	Peso:	2,8462	Nº amostra:	Peso:	3,1537	Nº amostra:	Peso:	[illegible]
3 semanas	1	Peso:	6,1487	3	Peso:	5,8745	5	Peso:	6,1199	7	Peso:	[illegible]
0 dias	Nº amostra:	Peso:	2,9953	Nº amostra:	Peso:	3,0365	Nº amostra:	Peso:	3,063	Nº amostra:	Peso:	[illegible]
3 mês	2	Peso:	3,1056	4	Peso:	3,3525	6	Peso:	3,8198	8	Peso:	[illegible]

Tabela utilizada para as amostras metálicas de maiores dimensões (140 mm x 20 mm):

Aço inoxidável 316 L (140mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	67,1653	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 semanas	1	Peso:		3	Peso:	67,1008	5	Peso:		7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	67,5295	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 mês	2	Peso:		4	Peso:	67,4904	6	Peso:		8	Peso:	

Aço inoxidável 321 (140mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	86,0304	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 semanas	1	Peso:		3	Peso:	85,9674	5	Peso:		7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	86,3687	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 mês	2	Peso:		4	Peso:	86,2639	6	Peso:		8	Peso:	

Duplex 14462 (140mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	42,382	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 semanas	1	Peso:		3	Peso:	42,3611	5	Peso:		7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	42,2661	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 mês	2	Peso:		4	Peso:	42,2489	6	Peso:		8	Peso:	

Tabela utilizada para as amostras poliméricas de maiores dimensões (140 mm x 20 mm):

PVC (140mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	12,7467	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 semanas	1	Peso:		3	Peso:	12,7551	5	Peso:		7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	12,4979	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 mês	2	Peso:		4	Peso:	12,5129	6	Peso:		8	Peso:	

PEAD (140mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	8,2068	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 semanas	1	Peso:		3	Peso:	8,2164	5	Peso:		7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	8,2396	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 mês	2	Peso:		4	Peso:	8,2412	6	Peso:		8	Peso:	

PP (140mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	7,7866	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 semanas	1	Peso:		3	Peso:	7,7884	5	Peso:		7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	7,8628	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 mês	2	Peso:		4	Peso:	7,8658	6	Peso:		8	Peso:	

Tabela utilizada para as amostras de madeira de maiores dimensões (140 mm x 20 mm):

Faia (140mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	14,5154	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 semanas	1	Peso:		3	Peso:	24,796	5	Peso:		7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	14,3358	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 mês	2	Peso:		4	Peso:	15,8444	6	Peso:		8	Peso:	

Carvalho (140mm x 20mm)												
Data:	Diluições											
	2%			5%			25%			50%		
recipiente	1			2			3			4		
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	14,151	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 semanas	1	Peso:		3	Peso:	27,7593	5	Peso:		7	Peso:	
0 dias	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	13,1998	Nº amostra:	Peso:		Nº amostra:	Peso:	
3 mês	2	Peso:		4	Peso:	15,9638	6	Peso:		8	Peso:	

ANEXO 4

Decreto de lei relativo à qualidade da água

Decreto de Lei nº 306/2007:

h) Dar apoio na resolução de problemas ligados à aplicação do regime jurídico do funcionalismo público;

i) Exercer as competências previstas nas alíneas anteriores, quando aplicável, relativamente a bolseiros, estagiários e pessoal equiparado.

2 — Compete igualmente à Divisão de Gestão de Pessoal dar apoio no planeamento de efectivos, nomeadamente no que se refere à sua afectação pelos diversos sectores.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE, DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

Decreto-Lei n.º 306/2007

de 27 de Agosto

O Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, que transpôs para ordem jurídica interna a Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro, relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano, manteve aspectos fundamentais do anterior diploma, o Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. Este definia já o essencial das obrigações das entidades gestoras, nomeadamente a apresentação do programa de controlo da qualidade da água para consumo humano, a frequência de amostragem de acordo com a população servida, a comunicação dos incumprimentos de valores paramétricos e de outras situações que comportassem risco para a saúde humana, a publicação trimestral dos resultados obtidos nas análises de demonstração de conformidade, a comunicação, até 31 de Março de cada ano, dos dados analíticos da implementação do programa de controlo da qualidade da água relativos ao ano transacto, a realização de análises preferencialmente em laboratórios de ensaios credenciados e os métodos analíticos de referência.

Relativamente ao anterior diploma legal, o Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, modificou a lista dos parâmetros a realizar, alterou alguns valores paramétricos, abordou de uma forma mais racionalizada o controlo dos pesticidas, estabeleceu que o controlo da qualidade da água passava a ser feito na torneira do consumidor e definiu a necessidade de regulamentação das situações em que a gestão e a exploração de um sistema de abastecimento público de água estão sob a responsabilidade de duas ou mais entidades gestoras.

Contudo, a alteração mais significativa foi a criação de uma autoridade competente, o Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), responsável pela coordenação da implementação do diploma. Procedeu-se, assim, à concentração de um conjunto essencial de atribuições, anteriormente dispersas por várias entidades públicas, o que dificultava uma maior eficiência da Administração na fiscalização de uma matéria essencial à protecção da saúde humana. Deste modo, criou-se um quadro institucional mais favorável à consecução do objectivo tendente a alcançar melhores indicadores da qualidade para a água de consumo humano.

Passaram mais de cinco anos sobre a publicação daquele diploma, que se traduziu em consequências globalmente muito positivas para a qualidade da água destinada ao consumo humano, materializadas através de diversos indicadores objectivos. No entanto, um balanço rigoroso sobre a sua implementação não pode deixar de identificar um conjunto de aspectos que importa rever, e que estão na base da presente revisão.

Não estando prevista, a curto ou médio prazo, a revisão da Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro, diploma que procedeu à sua transposição, torna-se inadiável a revisão do Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro.

Optou-se na presente revisão por incorporar os aspectos vertidos no anterior diploma legal e na Portaria n.º 1216/2003, de 16 de Outubro, relativa à repartição de responsabilidades entre entidades gestoras quanto ao controlo da qualidade da água para consumo humano.

Há, no entanto, um conjunto de razões que justificam a revisão do Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro.

Por um lado, a necessidade de proceder à definição de uma abordagem mais racionalizada para as zonas de abastecimento com volumes médios diários inferiores a 100 m^3, nomeadamente no que concerne à frequência de amostragem.

Acresce a necessidade de garantir a desinfecção como processo de tratamento para a redução da ainda elevada percentagem de incumprimentos dos valores paramétricos relativos aos parâmetros microbiológicos. De facto, o esforço técnico e financeiro realizado nos sistemas em alta, materializado em vultuosos investimentos, nem sempre foi acompanhado pela renovação e ampliação dos sistemas em baixa, pelo que ainda não se reflectiu plenamente na qualidade da água que chega ao utilizador final.

Torna-se ainda indispensável a definição e a implementação de um programa de controlo operacional, já que é essencial o controlo regular e frequente de todos os componentes do sistema de abastecimento, por forma a optimizar a qualidade da água no consumidor.

Por outro lado, a experiência decorrente da aplicação do regime ora revisto sustenta a necessidade de introdução de novos parâmetros no controlo da qualidade da água, tendo em conta a existência, em algumas zonas do País, de águas com dureza elevada ou agressivas, ou com frequente aparecimento de florescências de cianobactérias, razões pelas quais deverão ser controladas através da análise de parâmetros específicos.

Tendo em conta que a água para consumo humano pode ser fornecida através de sistemas públicos ou particulares de abastecimento, torna-se também necessário proceder ao tratamento das especificidades destes últimos.

Relevante para a decisão de revisão do actual diploma foi igualmente a necessidade de adaptar melhor a legislação nacional relativa à qualidade da água para consumo humano à Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro.

Para além destas razões, há outras situações que, embora de menor importância, foram objecto de clarificação no presente decreto-lei.

Foram ouvidos a Associação Nacional de Municípios Portugueses e os órgãos de governo próprio das Regiões Autónomas.

Foi promovida a audição do Conselho Nacional do Consumo.

Assim:

Nos termos da alínea *a*) do n.º 1 do artigo 198.º da Constituição, o Governo decreta o seguinte:

CAPÍTULO I

Disposições gerais

Artigo 1.º

Objecto

1 — O presente decreto-lei estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, procedendo

à revisão do Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, que transpôs para o ordenamento jurídico interno a Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro, tendo por objectivo proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes da eventual contaminação dessa água e assegurar a disponibilização tendencialmente universal de água salubre, limpa e desejavelmente equilibrada na sua composição.

2 — O presente decreto-lei estabelece ainda os critérios de repartição da responsabilidade pela gestão de um sistema de abastecimento público de água para consumo humano, quando a mesma seja partilhada por duas ou mais entidades gestoras.

Artigo 2.º

Definições

Para efeitos do disposto no presente decreto-lei, entende-se por:

a) «Acreditação» o procedimento através do qual o organismo nacional de acreditação reconhece formalmente que uma entidade é competente tecnicamente para efectuar uma determinada função específica, de acordo com normas internacionais, europeias ou nacionais;

b) «Água destinada ao consumo humano»:

i) Toda a água no seu estado original, ou após tratamento, destinada a ser bebida, a cozinhar, à preparação de alimentos, à higiene pessoal ou a outros fins domésticos, independentemente da sua origem e de ser fornecida a partir de uma rede de distribuição, de um camião ou navio-cisterna, em garrafas ou outros recipientes, com ou sem fins comerciais;

ii) Toda a água utilizada numa empresa da indústria alimentar para fabrico, transformação, conservação ou comercialização de produtos ou substâncias destinados ao consumo humano, assim como a utilizada na limpeza de superfícies, objectos e materiais que podem estar em contacto com os alimentos, excepto quando a utilização dessa água não afecta a salubridade do género alimentício na sua forma acabada;

c) «Autoridade de saúde» a entidade responsável pela aplicação do presente decreto-lei na componente de saúde pública, em articulação com a autoridade competente;

d) «*Comité*» a entidade a que se refere o artigo 12.º da Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro, relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano;

e) «Controlo» o conjunto de acções de avaliação da qualidade da água realizadas com carácter regular pelas entidades gestoras, com vista à manutenção da sua qualidade, em conformidade com as normas estabelecidas legalmente;

f) «Controlo operacional» o conjunto de observações, avaliações analíticas e acções a implementar no sistema de abastecimento que contribuem para assegurar a adequada qualidade da água para consumo humano;

g) «Derrogação» a dispensa concedida pela autoridade competente que define, por si ou por decisão da Comissão Europeia, para um determinado período de tempo, um valor paramétrico menos exigente para os parâmetros fixados no presente decreto-lei;

h) «Entidade gestora de sistema de abastecimento particular» a entidade responsável pela exploração e gestão de sistemas de abastecimento de água destinada ao consumo humano para fins privativos;

i) «Entidade gestora de sistema de abastecimento público» a entidade responsável pela exploração e gestão de um sistema de água para consumo humano, através de redes fixas ou de outros meios de fornecimento de água, no âmbito das atribuições de serviço público;

j) «Entidade gestora de sistema de abastecimento público em alta» a entidade responsável por um sistema destinado, no todo ou em parte, ao represamento, à captação, à elevação, ao tratamento, ao armazenamento e à adução de água para consumo público;

l) «Entidade gestora de sistema de abastecimento público em baixa» a entidade responsável por um sistema destinado, no todo ou em parte, ao armazenamento, à elevação e à distribuição de água para consumo público aos sistemas prediais, aos quais liga através de ramais de ligação;

m) «ETA» uma estação de tratamento de água para consumo humano, a qual, na sua forma mais simples, é constituída apenas por desinfecção;

n) «Fiscalização» o conjunto de acções que permitem verificar o cumprimento da legislação referente à qualidade da água para consumo humano;

o) «Método analítico de referência» o método definido pelo presente decreto-lei que permite avaliar com fiabilidade o valor de um parâmetro de qualidade da água relativamente ao qual são comparados outros métodos analíticos utilizados;

p) «Parâmetros conservativos» os parâmetros em relação aos quais seja possível demonstrar não haver alterações negativas entre a estação de tratamento de água para consumo humano e as torneiras dos consumidores;

q) «Parâmetros indicadores» os parâmetros cujo valor deve ser considerado como valor guia, nos termos do presente decreto-lei;

r) «Parâmetros obrigatórios» os parâmetros cujo valor não pode ser ultrapassado, nos termos do presente decreto-lei;

s) «Ponto de amostragem» o local onde é efectuada a colheita de amostra de água para verificação da sua conformidade, nos termos definidos no presente decreto-lei;

t) «Ponto de entrega» o local físico ou conjunto de locais físicos onde é feita a entrega de água para consumo humano por uma entidade gestora a outra entidade gestora, caracterizado por uma uniformidade da qualidade de água;

u) «População servida» o número de habitantes ligados a um sistema de abastecimento, no âmbito de uma zona de abastecimento;

v) «Qualidade da água para consumo humano» a característica dada pelo conjunto de valores de parâmetros microbiológicos e físico-químicos fixados nas partes I, II e III do anexo I do presente decreto-lei e que dele faz parte integrante;

x) «Rede de distribuição» o conjunto de tubagens e acessórios instalados para a distribuição da água para consumo humano desde os reservatórios, ou captações ou estações de tratamento de água, até à entrada nos sistemas de distribuição prediais;

z) «Sistema de abastecimento» o conjunto de equipamentos e infra-estruturas que englobam a captação, o tratamento, a adução, o armazenamento e a distribuição da água para consumo humano;

aa) «Sistema de distribuição predial» o conjunto de canalizações, acessórios e aparelhos instalados entre as

torneiras normalmente utilizadas para consumo humano e o ramal de ligação;

ab) «Supervisão de laboratório» o conjunto de acções da autoridade competente que permitem verificar a implementação dos métodos analíticos, do sistema de controlo da qualidade analítica, interno e externo, associado a cada método, assim como as condições de funcionamento dos laboratórios de ensaios responsáveis pelas análises do controlo da qualidade da água para consumo humano;

ac) «Valor paramétrico» o valor máximo ou mínimo fixado para cada um dos parâmetros a controlar, tendo em atenção o disposto no presente decreto-lei;

ad) «Zona de abastecimento» a área geográfica servida por um sistema de abastecimento na qual a água proveniente de uma ou mais origens pode ser considerada uniforme.

Artigo 3.º

Autoridade competente

A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, I. P., abreviadamente designada por ERSAR, I. P., é a autoridade competente para a coordenação e fiscalização da aplicação do presente decreto-lei.

Artigo 4.º

Autoridade de saúde

1 — As funções de autoridade de saúde relativas à aplicação do presente decreto-lei na componente de saúde pública são exercidas por:

a) No caso dos sistemas municipais ou particulares, pelo delegado regional de saúde ou o seu representante designado para o concelho;

b) No caso dos sistemas multimunicipais ou intermunicipais, pelo delegado regional de saúde ou o seu representante designado, assessorado pelos delegados de saúde dos concelhos envolvidos;

c) No caso dos sistemas multimunicipais ou intermunicipais que abranjam mais de um centro regional de saúde pública, pela Direcção-Geral da Saúde, abreviadamente designada por DGS;

d) No caso das intervenções e derrogações a que se referem os artigos 23.º e 24.º do presente decreto-lei, pelo delegado regional de saúde da região onde se localiza o sistema de abastecimento, ou quando estiver em causa mais de uma região, pela DGS.

2 — A autoridade de saúde assegura de forma regular e periódica a vigilância sanitária da qualidade da água para consumo humano fornecida pelas entidades gestoras, bem como as demais funções constantes do presente decreto-lei.

Artigo 5.º

Âmbito de aplicação

1 — O presente decreto-lei aplica-se às águas destinadas ao consumo humano.

2 — Para as águas referidas na subalínea *ii*) da alínea *b*) do artigo 2.º, a Autoridade de Segurança Alimentar e Económica, abreviadamente designada por ASAE, define e comunica à autoridade competente e à DGS a lista das utilizações nas indústrias alimentares em que a salubridade do produto final não é afectada pela qualidade da água utilizada.

3 — O presente decreto-lei não se aplica:

a) Às águas minerais naturais abrangidas pelo disposto na legislação em vigor sobre a matéria;

b) Às águas de nascente abrangidas pelo Decreto-Lei n.º 156/98, de 6 de Junho, excepto os valores paramétricos estabelecidos no anexo I do presente decreto-lei para os parâmetros fixados pela entidade licenciadora;

c) Às águas que são produtos medicinais, na acepção dada a medicamentos pela alínea *ee*) do n.º 1 do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 176/2006, de 30 de Agosto;

d) Às águas destinadas à produção de água para consumo humano, abrangidas pelo Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto.

Artigo 6.º

Normas de qualidade

1 — A água destinada ao consumo humano deve respeitar os valores paramétricos dos parâmetros constantes das partes I, II e III do anexo I do presente decreto-lei.

2 — Quando a protecção da saúde humana assim o exija, a DGS fixa os valores aplicáveis a outros parâmetros não incluídos no anexo I do presente decreto-lei, cujos valores paramétricos devem respeitar o disposto no n.º 2 do artigo 8.º

Artigo 7.º

Isenções

1 — Estão isentas da aplicação das normas de qualidade constantes do presente decreto-lei:

a) A água que se destina exclusivamente a fins para os quais a autoridade de saúde tenha determinado que a qualidade da água não tem qualquer influência, directa ou indirecta, na saúde dos consumidores;

b) A água destinada ao consumo humano fornecida no âmbito de sistemas de abastecimento particular que sirvam menos de 50 pessoas ou que sejam objecto de consumos inferiores a 10 m^3/dia, em média, excepto se essa água for fornecida no âmbito de uma actividade pública ou privada de natureza comercial, industrial ou de serviços.

2 — Nos casos previstos na alínea *b*) do número anterior, as entidades licenciadoras informam a respectiva autoridade de saúde dos licenciamentos concedidos, devendo esta assegurar que a população afectada é informada da isenção, bem como das medidas necessárias para proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes de qualquer contaminação da água para consumo humano.

3 — Sempre que, no âmbito da alínea *b*) do n.º 1, seja identificado um perigo potencial para a saúde humana devido à qualidade da água, a autoridade de saúde presta o aconselhamento adequado à população servida.

CAPÍTULO II

Obrigações de qualidade da água

Artigo 8.º

Obrigações gerais

1 — As entidades gestoras de sistemas de abastecimento público em baixa devem, tendencialmente, disponibilizar, por rede fixa ou outros meios, água própria para consumo humano devidamente controlada, em quantidade que satis-

faça as necessidades básicas da população e em qualidade, na sua área geográfica de influência.

2 — Compete às entidades gestoras garantir que a água destinada ao consumo humano seja salubre, limpa e desejavelmente equilibrada, designadamente que:

a) Não contenha nenhum microrganismo, parasita ou substância em quantidade ou concentração que possa constituir um perigo potencial para a saúde humana;

b) Cumpra as normas da qualidade fixadas no anexo I do presente decreto-lei;

c) Não seja agressiva, nem incrustante ao longo do sistema de abastecimento, devendo tomar as medidas para dar cumprimento ao disposto no n.º 3 do presente artigo e nos artigos 6.º, 9.º, 10.º, 14.º, 15.º, 16.º, 18.º, 21.º e 28.º

3 — As entidades gestoras devem garantir a realização, caso a caso, de controlos suplementares de substâncias e ou microrganismos para os quais não tenham sido fixados os valores paramétricos a que se refere o artigo 6.º, se houver razões para suspeitar que os mesmos podem estar presentes em quantidades que constituam um perigo potencial para a saúde humana, os quais são determinados pela autoridade de saúde, ouvidas a entidade gestora e a autoridade competente.

4 — A implementação do presente decreto-lei por parte das entidades gestoras não pode provocar, directa ou indirectamente, qualquer deterioração da qualidade da água para consumo humano relevante para a protecção da saúde humana, nem produzir qualquer aumento da poluição das águas utilizadas para a produção de água potável.

5 — As entidades gestoras devem manter os registos relativos ao controlo da qualidade da água para consumo humano e a respectiva documentação por um período mínimo de cinco anos.

Artigo 9.º

Tratamento da água destinada ao consumo humano

1 — As entidades gestoras asseguram obrigatoriamente um adequado tratamento da água destinada ao consumo humano, de molde a dar cumprimento ao disposto no artigo 6.º e no n.º 2 do artigo 8.º

2 — A água distribuída deve ser submetida a um processo de desinfecção.

3 — As entidades gestoras podem ser dispensadas pela autoridade de saúde do cumprimento do disposto no número anterior se, através do histórico analítico, demonstrarem não terem tido incumprimentos aos parâmetros microbiológicos sem recurso à desinfecção.

4 — Compete às entidades gestoras assegurar a eficácia da desinfecção e garantir, sem comprometer a desinfecção, que a contaminação por subprodutos da água seja mantida a um nível tão baixo quanto possível e não ponha em causa a sua qualidade para consumo humano.

Artigo 10.º

Verificação da conformidade

1 — O controlo da qualidade da água realiza-se de acordo com o disposto no anexo II do presente decreto-lei e que dele faz parte integrante.

2 — A verificação do cumprimento dos valores paramétricos fixados nos termos do presente decreto-lei é feita:

a) No caso da água fornecida a partir de uma rede de distribuição, no ponto em que, no interior de uma instalação ou estabelecimento, sai das torneiras normalmente utilizadas para consumo humano;

b) No caso da água fornecida a partir de fontanários não ligados à rede de distribuição, no ponto de utilização;

c) No caso da água fornecida por entidades gestoras em alta, nos pontos de amostragem dos pontos de entrega aos respectivos utilizadores;

d) No caso da água fornecida a partir de camiões, navios-cisterna e reservatórios não ligados à rede de distribuição, no ponto de utilização;

e) No caso da água destinada à venda em garrafas e outros recipientes, com ou sem fins comerciais, no fim da linha de enchimento;

f) No caso da água utilizada numa empresa da indústria alimentar, no ponto de utilização.

3 — Nas situações a que se refere a alínea *a*) do número anterior, a responsabilidade das entidades gestoras cessa sempre que se comprove que o incumprimento dos valores paramétricos fixados nos termos do presente decreto-lei é imputável ao sistema de distribuição predial ou à sua manutenção, excepto nas instalações e nos estabelecimentos em que se fornece água ao público, tais como escolas, hospitais e restaurantes, caso em que deve esclarecer, por escrito, os responsáveis desses estabelecimentos ou instalações sobre os incumprimentos dos valores paramétricos decorrentes dos seus sistemas específicos, logo que deles tenham conhecimento.

4 — Da informação referida no número anterior deve ser dado conhecimento à autoridade competente e à autoridade de saúde.

5 — Quando o incumprimento dos valores paramétricos fixados nos termos do presente decreto-lei seja imputável ao sistema de distribuição predial ou à sua manutenção, a autoridade competente, ouvida, se necessário, a autoridade de saúde, pode determinar aos responsáveis dos estabelecimentos ou das instalações em que se forneça água ao público a adopção de medidas a implementar nas redes prediais para reduzir ou eliminar os riscos de incumprimento dos valores paramétricos, bem como os respectivos prazos, dando conhecimento às entidades gestoras.

6 — Não sendo adoptadas as medidas referidas no número anterior no prazo fixado, a autoridade competente, ouvida a autoridade de saúde, pode determinar que a entidade gestora suspenda o fornecimento de água, caso esteja em risco a saúde humana.

7 — A autoridade competente pode ainda, em articulação com as entidades gestoras, determinar a estas a adopção de outras medidas, tais como a introdução de técnicas de tratamento adequadas para modificar a natureza ou as propriedades da água antes da distribuição, por forma a reduzir ou eliminar os riscos de incumprimento dos valores paramétricos após a distribuição.

8 — A autoridade competente garante ainda que os consumidores afectados são devidamente informados e aconselhados sobre eventuais medidas de correcção suplementares que devam tomar.

Artigo 11.º

Controlo dos parâmetros conservativos

1 — São considerados parâmetros conservativos:

a) Acrilamida;

b) Antimónio;

c) Arsénio;

d) Benzeno;
e) Boro;
f) Bromatos;
g) Cádmio;
h) Cianetos;
i) Cloretos;
j) Crómio;
l) 1,2-dicloroetano;
m) Fluoretos;
n) Mercúrio;
o) Nitratos;
p) Pesticidas;
q) Radioactividade;
r) Selénio;
s) Sódio;
t) Sulfatos;
u) Tetracloroeteno e tricloroeteno.

2 — O controlo dos parâmetros conservativos é obrigatório para as entidades gestoras que produzam água para consumo humano, devendo ser efectuado com a frequência estabelecida para as entidades gestoras em baixa.

3 — A entidade gestora que distribua água adquirida exclusivamente a outra entidade gestora está dispensada do controlo dos parâmetros conservativos nas zonas de abastecimento onde ocorra essa aquisição exclusiva.

Artigo 12.º

Controlo dos pesticidas

1 — As entidades gestoras devem controlar os pesticidas cuja presença seja provável numa determinada zona de abastecimento, tendo em conta a localização das suas origens de água.

2 — A Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, abreviadamente designada por DGADR, fixa até 31 de Julho de cada ano os pesticidas a controlar pelas entidades gestoras no ano seguinte.

3 — Quando as origens forem superficiais, a DGADR fixa os períodos mais adequados para a sua pesquisa, devendo o procedimento ser realizado em articulação com as administrações de região hidrográfica, abreviadamente designadas por ARH, e com a autoridade competente.

4 — A lista resultante do número anterior é publicitada pela autoridade competente, que a disponibiliza através do seu sítio na Internet.

5 — Se uma entidade gestora pretender a dispensa do controlo dos pesticidas referidos no n.º 1 relativamente a uma ou mais zonas de abastecimento, deve requerê-la à respectiva direcção regional de agricultura, com base nas práticas agrícolas e no tipo e na localização geográfica da captação.

6 — O requerimento referido no número anterior é enviado à DGADR, acompanhado da pronúncia da direcção regional de agricultura, emitindo aquela um parecer no prazo de 30 dias.

7 — O parecer referido no número anterior é vinculativo, devendo as entidades gestoras remetê-lo à autoridade competente, a qual decide em conformidade no prazo de 15 dias a contar da sua recepção.

8 — A autoridade competente deve elaborar uma lista de pesticidas a pesquisar anualmente nos rios internacionais, a qual deve ser actualizada até ao dia 31 de Julho de cada ano.

Artigo 13.º

Dispensa do controlo analítico

1 — As entidades gestoras podem solicitar à autoridade competente a dispensa da análise de um ou mais parâmetros do controlo de inspecção para as zonas de abastecimento com volumes médios diários inferiores a 100 m^3.

2 — O disposto no número anterior não se aplica aos parâmetros *Enterococos* e *Clostridium perfringens.*

3 — Para efeitos do disposto no n.º 1, as entidades gestoras devem evidenciar os resultados obtidos em laboratório considerado apto pelo autoridade competente, nos termos deste decreto-lei, correspondentes a pelo menos três determinações analíticas distribuídas equitativamente no tempo, durante um período mínimo de um ano, relevando, para este efeito, os valores obtidos a partir de 1 de Janeiro de 2004.

4 — A dispensa da determinação dos parâmetros do controlo de inspecção é válida por um período de três anos.

5 — No termo da validade da dispensa, a entidade gestora deve incluir no programa de controlo da qualidade da água, abreviadamente designado por PCQA, a determinação de todos os parâmetros do controlo de inspecção, de acordo com a frequência estabelecida no anexo II do presente decreto-lei.

6 — O pedido de dispensa referido no n.º 1 pode ser renovado, desde que não tenham sido detectados incumprimentos no ano a que se refere o PCQA mencionado no número anterior.

7 — As entidades gestoras devem comunicar à autoridade competente, logo que dela tenha conhecimento, qualquer alteração das circunstâncias com base nas quais foi concedida a dispensa do controlo analítico.

CAPÍTULO III

Programa de controlo da qualidade da água

Artigo 14.º

Elaboração e aprovação

1 — As entidades gestoras devem dispor, no início de cada ano civil, de um PCQA, aprovado pela autoridade competente.

2 — O PCQA é elaborado nos termos definidos no anexo III do presente decreto-lei, do qual faz parte integrante, e submetido à aprovação da autoridade competente:

a) No caso das entidades gestoras em alta, até 15 de Setembro do ano anterior ao período a que diz respeito;
b) No caso das entidades gestoras em baixa, até 30 de Setembro do ano anterior ao período a que diz respeito.

3 — O requerimento de aprovação do PCQA é apresentado em suporte informático e através de uma plataforma informática que funciona no sítio da Internet da autoridade competente, designada por PCQA-*online,* sendo as subsequentes comunicações no âmbito do respectivo procedimento realizadas por meios electrónicos.

4 — O PCQA considera-se tacitamente aprovado na ausência de pronúncia da autoridade competente no prazo máximo de 45 dias contado a partir de 30 de Setembro.

5 — A não aprovação do PCQA não dispensa as entidades gestoras de realizarem o controlo da qualidade da água para consumo humano, de acordo com o disposto no presente decreto-lei.

Artigo 15.º

Implementação

1 — As entidades gestoras devem implementar integralmente o PCQA aprovado pela autoridade competente, devendo ser-lhe comunicada imediatamente qualquer alteração ao programa previamente aprovado, excepto as relativas aos pontos de amostragem, quando os pontos de amostragem alternativos sejam representativos da área da zona de abastecimento que se pretende controlar, as quais devem ser objecto de registo.

2 — As entidades gestoras em alta devem preparar e manter um registo actualizado contendo:

a) Planta esquemática com a localização e a identificação dos pontos de entrega e das infra-estruturas existentes e respectivas interligações;

b) Informação das derrogações autorizadas;

c) Descrição das medidas correctivas tomadas para cumprir com os valores paramétricos;

d) Informação das situações de restrição à utilização da água para consumo humano que tenham ocorrido.

3 — As entidades gestoras em baixa devem preparar e manter um registo actualizado contendo:

a) Planta do concelho com a delimitação das zonas de abastecimento e indicação esquemática das infra-estruturas existentes;

b) Estimativa da população servida, por zona de abastecimento;

c) Informação das derrogações autorizadas;

d) Descrição das medidas correctivas tomadas para cumprir com os valores paramétricos;

e) Informação das situações de restrição à utilização da água para consumo humano que tenham ocorrido.

4 — Os registos referidos nos números anteriores devem ser tornados acessíveis ao público ou aos clientes nos locais próprios e sempre que for solicitada a sua consulta.

5 — Os resultados da verificação da qualidade da água para consumo humano obtidos na implementação do PCQA aprovado devem ser comunicados pelas entidades gestoras à autoridade competente até 31 de Março do ano seguinte àquele a que dizem respeito, em formato por esta definido.

6 — O disposto no presente artigo e no artigo anterior não se aplica às entidades gestoras de sistemas de abastecimento particular, sem prejuízo do cumprimento das restantes obrigações constantes do presente decreto-lei.

Artigo 16.º

Controlo de fontanários não ligados à rede pública

1 — Os fontanários não ligados à rede pública de distribuição de água que sejam origem única de água para consumo humano e propriedade do município ou das juntas de freguesia devem integrar o PCQA do serviço em baixa.

2 — Os contratos relativos a sistemas de gestão delegada ou concessionada celebrados a partir da entrada em vigor do presente decreto-lei devem indicar a quem compete o cumprimento do disposto no número anterior, presumindo-se que tal responsabilidade impende sobre o delegante ou concedente na ausência de menção expressa.

3 — As entidades titulares dos sistemas de abastecimento que tenham delegado ou concessionado as obrigações referidas no n.º 1 apenas para parte da sua área geográfica de influência mantêm aquelas obrigações na área geográfica não incluída no âmbito da delegação ou da concessão.

4 — Quando os fontanários referidos no n.º 1 não reúnam condições para ser origem de água para consumo humano, as entidades gestoras devem providenciar uma alternativa de fornecimento de água, em quantidade e qualidade.

5 — As entidades gestoras em baixa podem integrar no PCQA os fontanários propriedade do município ou das juntas de freguesia, não ligados à rede pública de distribuição de água, que não sejam origem única de água para consumo humano.

6 — No caso dos fontanários referidos no número anterior que não tenham sido integrados no PCQA, as entidades gestoras devem colocar placas informativas de água não controlada ou de água imprópria para consumo humano, conforme o caso.

Artigo 17.º

Divulgação dos dados da qualidade da água

1 — As entidades gestoras em baixa devem publicitar, trimestralmente, por meio de editais afixados nos lugares próprios ou na imprensa regional, no prazo máximo de dois meses após o trimestre a que dizem respeito, os resultados analíticos obtidos na implementação do PCQA, sem prejuízo da divulgação adicional por outros formatos, designadamente, no seus sítios na Internet, por correio ou nos boletins municipais.

2 — Os editais devem permanecer afixados até à sua substituição pelos editais seguintes e ser enviados à autoridade de saúde.

3 — As entidades gestoras em baixa que actuem por delegação ou concessão devem publicitar na imprensa regional os dados trimestrais da qualidade da água ou, em alternativa, fornecê-los aos respectivos municípios, para que estes procedam à sua publicitação por edital.

4 — As entidades gestoras em alta devem fazer prova, trimestralmente, junto das entidades gestoras em baixa, dos resultados analíticos obtidos na implementação do PCQA, por ponto de entrega, num prazo máximo de dois meses após o trimestre a que dizem respeito.

5 — Da informação referida nos números anteriores deve constar, no mínimo, por parâmetro:

a) O número de análises previstas no PCQA;

b) A percentagem de análises realizadas;

c) O valor paramétrico;

d) Os valores máximo e mínimo obtidos;

e) A percentagem de análises que cumprem a legislação;

f) A informação complementar relativa às causas dos incumprimentos e às medidas correctivas implementadas.

6 — A entidade gestora deve disponibilizar a informação relativa a cada zona de abastecimento, quando solicitada.

7 — As entidades gestoras de sistemas de abastecimento particular devem publicitar trimestralmente nas suas instalações os resultados da verificação da conformidade da qualidade da água distribuída e enviá-los à respectiva autoridade de saúde.

CAPÍTULO IV

Incumprimentos

Artigo 18.º

Comunicação de incumprimentos

1 — As situações de incumprimento dos valores paramétricos estabelecidos nas partes I, II e III do anexo I do presente decreto-lei devem ser comunicadas, de forma auditável e até ao fim do dia útil seguinte àquele em que tiveram conhecimento da sua ocorrência, pelos laboratórios de análises encarregues do controlo da qualidade da água às entidade gestoras, as quais, por sua vez, devem comunicá-las à autoridade de saúde e à autoridade competente até ao fim do dia útil seguinte àquele em que tiveram conhecimento da sua ocorrência.

2 — Nas situações previstas no número anterior, as entidades gestoras em alta devem ainda informar as respectivas entidades gestoras em baixa.

Artigo 19.º

Correcção dos incumprimentos

1 — Verificada uma situação de incumprimento dos valores paramétricos das partes I e II do anexo I do presente decreto-lei, as entidades gestoras devem investigar imediatamente a sua causa e adoptar as medidas correctivas necessárias para restabelecer a qualidade da água destinada ao consumo humano, tendo especialmente em atenção o desvio em relação ao valor paramétrico fixado e o perigo potencial para a saúde humana.

2 — No caso de situações de incumprimento dos valores paramétricos da parte III do anexo I do presente decreto-lei, a autoridade de saúde deve, no prazo máximo de cinco dias úteis contados após a sua tomada de conhecimento, pronunciar-se junto das entidades gestoras sobre se existe um risco significativo para a saúde humana, dando conhecimento à autoridade competente.

3 — No âmbito do disposto no número anterior e caso a autoridade de saúde considere que há um risco significativo para a saúde humana, a autoridade de saúde, em colaboração com a entidade gestora, define as medidas correctivas a adoptar por esta para o restabelecimento da qualidade da água e das eventuais restrições ao seu uso, dando delas conhecimento à autoridade competente.

4 — Sem prejuízo da não consideração da existência de risco significativo para a saúde humana, a autoridade competente pode, no prazo de 30 dias e em colaboração com a entidade gestora, determinar a implementação de medidas correctivas para cumprimento dos valores paramétricos.

5 — A eficácia das medidas correctivas implementadas no âmbito do presente artigo deve ser avaliada mediante a realização, pelas entidades gestoras, de análises de verificação da qualidade da água aos parâmetros em incumprimento.

6 — Concluída a investigação das causas dos incumprimentos, adoptadas as medidas correctivas e conhecidos os resultados das análises de verificação, as entidades gestoras devem dar conhecimento desta informação à autoridade de saúde e à autoridade competente até ao 5.º dia útil seguinte à data de conclusão do processo.

7 — Nas situações previstas no número anterior, as entidades gestoras em alta devem ainda informar as respectivas entidades gestoras em baixa.

8 — A autoridade de saúde deve avisar os consumidores das medidas correctivas referidas nos n.os 1 e 4, excepto se considerar que o incumprimento do valor paramétrico verificado é insignificante.

Artigo 20.º

Persistência de incumprimentos

1 — Nas situações em que, apesar das medidas correctivas adoptadas, persista o incumprimento dos valores paramétricos, a autoridade competente pode colaborar com as entidades gestoras, por sua solicitação, na investigação das respectivas causas.

2 — Nas situações descritas no número anterior, a autoridade de saúde pode determinar a adopção de medidas excepcionais quando estiver em risco a saúde humana, incluindo a restrição ou a proibição do abastecimento, devendo informar imediatamente os consumidores e aconselhá-los devidamente.

3 — Nas situações referidas no número anterior, as entidades gestoras devem providenciar uma alternativa de água para consumo humano aos respectivos consumidores, desde que aquelas se mantenham por mais de vinte e quatro horas.

4 — Sem prejuízo do disposto no n.º 3 do artigo 10.º, a responsabilidade pelo incumprimento recai sobre a entidade gestora da parte do sistema em que o mesmo se verificou, salvo quando essa entidade demonstre que o incumprimento é imputável a outra entidade, sem prejuízo do dever de diligência que lhe assiste no sentido de regularizar o incumprimento.

Artigo 21.º

Utilização de materiais e produtos em contacto com a água

1 — As entidades gestoras não devem utilizar materiais que, em contacto com a água para consumo humano, possam provocar alterações que impliquem a redução do nível de protecção da saúde humana, conforme previsto no presente decreto-lei.

2 — As entidades gestoras devem assegurar que as substâncias e os produtos químicos utilizados no tratamento da água para consumo humano, bem como quaisquer impurezas que eventualmente possuam, não estejam presentes na água distribuída em valores superiores aos especificados no anexo I ao presente decreto-lei, nem originar, directa ou indirectamente, riscos para a saúde humana.

3 — A autoridade competente deve promover a criação de um esquema de aprovação nacional para as substâncias e produtos químicos utilizados no tratamento da água, bem como para os materiais em contacto com a água para consumo humano.

4 — Após a criação do esquema referido no número anterior, as entidades gestoras devem, sempre que aplicável, seleccionar os materiais aprovados para aplicação em instalações novas ou renovada, e as substâncias e os produtos químicos aprovados para o tratamento da água.

5 — As acções técnicas específicas previstas no artigo 3.º e no n.º 1 do artigo 4.º, ambos da Directiva n.º 89/106/CEE, do Conselho, de 21 de Dezembro de 1988, relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas no que respeita aos materiais de construção, devem respeitar os requisitos constantes do presente decreto-lei.

Artigo 22.º

Controlo operacional

1 — As entidades gestoras devem tomar as medidas necessárias para assegurarem a melhoria contínua da qualidade da água fornecida, através de programas de controlo operacional para todos os sistemas de abastecimento.

2 — As entidades gestoras devem manter registos actualizados das acções desenvolvidas no âmbito da implementação dos programas de controlo operacional e disponibilizá-los nas acções de fiscalização.

Artigo 23.º

Derrogações

1 — Nos casos em que não seja possível corrigir os incumprimentos nos termos do disposto nos artigos 18.º, 19.º e 20.º, num período máximo de 30 dias contado a partir da data de conclusão da investigação das suas causas, as entidades gestoras podem requerer à autoridade competente uma derrogação para um ou mais valores paramétricos fixados na parte II do anexo I do presente decreto-lei ou nos termos do n.º 2 do artigo 6.º para uma dada água e até um valor máximo a estabelecer por esta.

2 — Do requerimento constam os seguintes elementos:

a) Exposição das razões pelas quais não é possível corrigir o incumprimento nos termos do número anterior;

b) Indicação dos parâmetros para os quais as entidades gestoras pretendem a derrogação e proposta dos novos valores paramétricos;

c) Identificação da zona de abastecimento afectada, do volume médio diário fornecido e do número de habitantes atingidos, assim como das eventuais repercussões para as indústrias alimentares servidas;

d) Estabelecimento, se necessário, de um programa específico de monitorização da qualidade da água que permita às entidades gestoras acompanhar adequadamente a evolução da concentração dos parâmetros para os quais é solicitada a derrogação;

e) Indicação das medidas correctivas a aplicar, acompanhadas do plano de trabalhos e da estimativa dos respectivos custos;

f) Indicação da duração pretendida para a derrogação.

3 — A autoridade competente pode conceder a derrogação, fixando os valores máximos e o respectivo prazo, desde que não esteja em causa um perigo potencial para a saúde humana e o abastecimento não possa ser mantido por outro meio razoável.

4 — A decisão a que se refere o número anterior é precedida de parecer emitido pela autoridade de saúde no prazo máximo de 20 dias a contar da data em que tome conhecimento do pedido de derrogação, ou, na sua ausência, de audição da DGS.

5 — A autoridade competente, após tomar conhecimento do parecer referido no número anterior, profere decisão final no prazo de 20 dias.

6 — O disposto nos números anteriores não é aplicável se a autoridade de saúde considerar o incumprimento do valor paramétrico insignificante e se as medidas correctivas adoptadas nos termos dos artigos 19.º e 20.º permitirem resolver o incumprimento.

7 — Para efeitos do disposto no número anterior, a autoridade de saúde deve estabelecer o valor máximo para o parâmetro em causa e o prazo para resolver o problema, que não pode ser superior a 30 dias seguidos.

8 — O disposto nos n.os 6 e 7 não se aplica sempre que o incumprimento do valor paramétrico se tiver verificado durante mais de 30 dias seguidos nos 12 meses anteriores.

9 — A derrogação é concedida por um período tão curto quanto possível, não superior a três anos, sendo da mesma dado conhecimento à autoridade de saúde.

10 — Nos casos em que seja concedida uma derrogação a uma entidade gestora em alta, esta é extensível às respectivas entidades gestoras em baixa para as zonas abastecidas com água adquirida à respectiva entidade gestora em alta, que para este efeito deve informar a entidade gestora em baixa.

11 — O disposto no presente artigo e nos artigos seguintes não se aplica à água para consumo humano colocada à venda em garrafas e outros recipientes.

Artigo 24.º

Termo das derrogações

1 — Terminado o período de derrogação, a entidade gestora deve apresentar à autoridade competente um balanço que permita avaliar os progressos efectuados.

2 — A concessão de uma segunda derrogação, por período nunca superior a três anos, segue a tramitação estabelecida no artigo anterior, sendo precedida pelo envio à Comissão Europeia do balanço relativo à primeira derrogação, acompanhado dos motivos que a justificam.

3 — Em circunstâncias excepcionais e devidamente fundamentadas, as entidades gestoras podem solicitar à autoridade competente uma terceira derrogação, por um período máximo de três anos, a qual é submetida à Comissão Europeia caso a autoridade competente entenda existirem razões ponderosas que a justifiquem.

4 — Na sequência do disposto no número anterior, a Comissão Europeia toma uma decisão no prazo máximo de três meses.

Artigo 25.º

Comunicação de derrogações

1 — A autoridade competente comunica à Comissão Europeia, no prazo de dois meses, as derrogações por si concedidas relativas a abastecimentos superiores a 1000 m^3 por dia em média ou a 5000 pessoas, bem como os elementos enumerados no n.º 2 do artigo 23.º

2 — Sempre que seja concedida uma derrogação, as entidades gestoras em baixa informam imediata e devidamente as populações afectadas pela decisão da autoridade competente, através de edital afixado nos lugares próprios e na imprensa regional ou nos boletins municipais.

3 — A autoridade de saúde deve prestar, em articulação com as entidades gestoras e sempre que considere relevante, o aconselhamento necessário aos consumidores para os quais a derrogação possa representar um risco especial.

4 — O disposto nos n.os 2 e 3 não se aplica aos casos a que se refere o n.º 6 do artigo 23.º, salvo decisão em contrário da autoridade competente, ouvida a autoridade de saúde.

CAPÍTULO V

Laboratórios de ensaios

Artigo 26.º

Aptidão dos laboratórios de ensaios

1 — Os ensaios de controlo da qualidade da água nos pontos de amostragem referidos no n.º 2 do artigo 10.º relativos à verificação do cumprimento do presente decreto-lei só podem ser realizados por laboratórios de ensaios considerados como aptos pela autoridade competente, nos termos do presente decreto-lei.

2 — A autoridade competente divulga a lista actualizada dos laboratórios de ensaios referidos no número anterior através do seu sítio na Internet.

Artigo 27.º

Aprovação de credenciais dos laboratórios de ensaios

1 — Para efeitos do disposto no n.º 1 do artigo anterior, os laboratórios de ensaios responsáveis pelo controlo da qualidade da água para consumo humano devem submeter à autoridade competente as respectivas credenciais, cujo conteúdo inclui, no mínimo:

a) Relativamente aos parâmetros acreditados, o certificado de acreditação actualizado para o âmbito do controlo da qualidade da água para consumo humano;

b) Relativamente aos parâmetros não acreditados, e para efeitos de aprovação, a lista de métodos utilizados na verificação de conformidade da qualidade da água para dar cumprimento ao presente decreto-lei, as características de desempenho dos métodos, a descrição do controlo da qualidade interno implementado e os resultados da participação em ensaios de intercomparação laboratorial.

2 — Os laboratórios de ensaios devem actualizar as suas credenciais junto da autoridade competente sempre que as mesmas sofram alterações.

3 — Os laboratórios de ensaios devem manter um sistema de controlo da qualidade analítica devidamente documentado e actualizado.

4 — O sistema de controlo da qualidade analítica é supervisionado regularmente pela autoridade competente, em articulação com o Instituto Português de Acreditação, abreviadamente designado IPAC, em tudo o que esteja dentro do âmbito da acreditação.

Artigo 28.º

Utilização de métodos analíticos

1 — Os ensaios de controlo da qualidade devem ser realizados com recurso aos métodos analíticos constantes do anexo IV ao presente decreto-lei, que dele faz parte integrante.

2 — Os laboratórios de ensaios podem recorrer a métodos analíticos alternativos aos especificados no n.º 1 do anexo IV do presente decreto-lei, desde que comprovem, junto da autoridade competente, que os resultados obtidos são, no mínimo, tão fiáveis como os que seriam obtidos pelos métodos especificados.

3 — Para os parâmetros enunciados nos n.os 2 e 3 do anexo IV do presente decreto-lei, os laboratórios de ensaios podem utilizar qualquer método, desde que comprovem junto da autoridade competente que o mesmo satisfaz os requisitos de desempenho analítico estabelecidos no referido anexo.

4 — Para as colheitas de amostras e para os ensaios de controlo da qualidade para os quais não estejam especificados métodos de recolha de amostras e análise no anexo IV do presente decreto-lei, devem observar-se os métodos constantes de documentos normativos nacionais ou internacionais ou reconhecidos pela autoridade competente.

CAPÍTULO VI

Fiscalização e regime contra-ordenacional

Artigo 29.º

Fiscalização

1 — A fiscalização do cumprimento do disposto no presente decreto-lei é realizada pela autoridade competente e pela ASAE.

2 — A autoridade competente realiza, em qualquer ponto dos sistemas públicos de abastecimento e nas instalações das entidades gestoras, acções de fiscalização para verificar o cumprimento do presente decreto-lei, comunicando às mesmas as irregularidades detectadas.

3 — A fiscalização das entidades gestoras de sistemas particulares de abastecimento são realizadas pela ASAE, a qual reporta à autoridade competente, por sector de actividade, até 31 de Março do ano seguinte àquele a que dizem respeito, os seguintes elementos:

a) O número de acções de fiscalização realizadas;

b) A estimativa de população servida e volume anual;

c) O número de processos de contra-ordenação instruídos;

d) As principais infracções detectadas.

4 — No caso de a alteração da qualidade da água para consumo humano ser devida à qualidade da água na origem, os resultados da acção de fiscalização devem ser também comunicados à ARH territorialmente competente.

5 — No âmbito das acções de fiscalização referidas nos n.os 2 e 3, as entidades gestoras devem facultar à autoridade competente e à ASAE o acesso a qualquer ponto dos seus sistemas de abastecimento e às suas instalações.

6 — Os licenciamentos de captações de águas para sistemas de abastecimento particular devem ser comunicados pelas respectivas entidades licenciadoras e à ASAE.

Artigo 30.º

Vigilância sanitária

1 — As acções de vigilância sanitária são realizadas pela autoridade de saúde, que incluem:

a) A realização de análises complementares ao PCQA e de outras acções necessárias para a avaliação da qualidade da água para consumo humano;

b) A avaliação do risco para a saúde humana da qualidade da água destinada ao consumo humano.

2 — As acções de vigilância sanitária devem ter em conta o conhecimento do sistema de água e o seu funcionamento e as características da água e das zonas de abastecimento consideradas mais problemáticas.

3 — A entidade gestora deve fornecer o PCQA, bem como a caracterização e funcionamento dos sistemas de

abastecimento de água à autoridade de saúde, sempre que solicitada por esta.

4 — No âmbito das acções de vigilância sanitária, a autoridade de saúde deve informar a entidade gestora dos incumprimentos aos valores paramétricos detectados, no prazo de cinco dias a contar da data em que deles toma conhecimento.

5 — Quer os valores paramétricos tenham ou não sido respeitados, sempre que a autoridade de saúde verifique que a qualidade da água distribuída constitui um perigo potencial para a saúde humana, deve, em articulação com a entidade gestora, determinar as medidas a adoptar para minimizar tais efeitos, designadamente a determinação da proibição ou restrição do abastecimento e a informação e o aconselhamento aos consumidores, delas dando conhecimento à autoridade competente.

6 — A autoridade de saúde pode ainda determinar a proibição do abastecimento, tendo em consideração os riscos para a saúde humana decorrentes da interrupção do abastecimento ou da restrição da utilização da água.

7 — Da decisão referida no número anterior deve ser dado imediato conhecimento à entidade gestora e à autoridade competente, devendo ainda ser prestado o aconselhamento e a informação adequados aos consumidores afectados.

8 — Os licenciamentos de captações de águas para sistemas de abastecimento particular devem ser comunicados pelas respectivas entidades licenciadoras às autoridades de saúde, a pedido destas.

Artigo 31.º

Contra-ordenações

1 — Constitui contra-ordenação punível com coima de € 750 a € 3740, quando os factos sejam praticados por pessoa singular, e de € 2500 a € 44 890, quando praticados por pessoa colectiva:

a) Não sujeitar a água distribuída a um processo de desinfecção, nos termos do n.º 2 do artigo 9.º;

b) O não esclarecimento por escrito por parte das entidades gestoras, nos termos do n.º 3 do artigo 10.º;

c) A não implementação das medidas determinadas pela autoridade competente, nos termos do n.º 5 do artigo 10.º;

d) A não suspensão do fornecimento de água, nos termos do n.º 6 do artigo 10.º;

e) A não adopção das medidas determinadas pela autoridade competente, nos termos do n.º 7 do artigo 10.º;

f) A não inclusão no PCQA da determinação de todos os parâmetros do controlo de inspecção, nos termos do n.º 5 do artigo 13.º;

g) A não comunicação à autoridade competente das alterações ocorridas, nos termos do n.º 7 do artigo 13.º;

h) A inexistência no início de cada ano civil de um PCQA aprovado pela autoridade competente, nos termos do n.º 1 do artigo 14.º;

i) A não apresentação do PCQA à autoridade competente, nos termos do n.º 2 do artigo 14.º;

j) A não realização do controlo da qualidade da água, nos termos do n.º 5 do artigo 14.º;

l) A não implementação do PCQA, nos termos do n.º 1 do artigo 15.º;

m) A inexistência de um registo actualizado, nos termos dos n.os 2 e 3 do artigo 15.º;

n) A não disponibilização dos registos ao público ou aos clientes, nos termos do n.º 4 do artigo 15.º;

o) A não comunicação à autoridade competente dos resultados da verificação da qualidade da água para consumo humano obtidos na implementação do PCQA, nos termos do n.º 5 do artigo 15.º;

p) A não integração no PCQA dos fontanários não ligados à rede pública de distribuição de água, nos termos do n.º 1 do artigo 16.º;

q) Não providenciar uma alternativa de abastecimento de água, nos termos do n.º 4 do artigo 16.º;

r) Não implementar as medidas correctivas necessárias para restabelecer a qualidade da água destinada ao consumo humano, nos termos do no n.º 1 do artigo 19.º;

s) A não realização de análises de verificação da qualidade da água aos parâmetros em incumprimento, nos termos do n.º 5 do artigo 19.º;

t) Não providenciar uma alternativa de água para consumo humano, nos termos do n.º 3 do artigo 20.º;

u) A não selecção dos materiais, substâncias e produtos químicos, nos termos do n.º 4 do artigo 21.º;

v) A não apresentação à autoridade competente do balanço que permita avaliar os progressos efectuados, nos termos do n.º 1 do artigo 24.º;

x) A não informação das populações, nos termos do n.º 2 do artigo 25.º;

z) A não realização de ensaios por laboratórios considerados aptos, nos termos do n.º 1 do artigo 26.º;

aa) Não facultar à autoridade competente e à ASAE, durante acções de fiscalização, o acesso a qualquer ponto dos sistemas de abastecimento ou às instalações, nos termos do n.º 5 do artigo 29.º;

ab) O não fornecimento da caracterização e funcionamento dos sistemas de abastecimento de água à autoridade de saúde, nos termos do n.º 3 do artigo 30.º;

ac) O não cumprimento do prazo previsto no n.º 6 do artigo 37.º

2 — Constitui contra-ordenação punível com coima de € 250 a € 1500, quando os factos sejam praticados por pessoa singular, e de € 1250 a € 25 000, quando praticados por pessoa colectiva:

a) A não realização de controlos suplementares, nos termos do n.º 3 do artigo 8.º;

b) A não manutenção dos registos e respectiva documentação, nos termos do n.º 5 do artigo 8.º;

c) A não verificação dos valores paramétricos, nos termos do n.º 2 do artigo 10.º,

d) A não comunicação da informação, nos termos do n.º 4 do artigo 10.º;

e) A não divulgação dos dados da qualidade da água, nos termos do artigo 17.º;

f) A não comunicação das situações de incumprimento à entidade gestora e desta à autoridade competente e à autoridade de saúde, nos termos do n.º 1 do artigo 18.º;

g) A não comunicação da informação, nos termos do n.º 6 do artigo 19.º;

h) A não prestação de informação, nos termos do n.º 7 do artigo 19.º

3 — A negligência e a tentativa são puníveis nos termos da lei geral, sendo reduzidos para metade os montantes máximos e mínimos das coimas aplicáveis.

4 — Sempre que a contra-ordenação consista na omissão de um dever, o pagamento da coima não dispensa o infractor do seu cumprimento se este ainda for possível.

Artigo 32.º

Sanções acessórias

1 — Às contra-ordenações previstas no artigo anterior podem, em simultâneo com a coima e nos termos da lei geral, ser aplicadas as seguintes sanções acessórias:

a) Perda a favor do Estado dos objectos pertencentes ao agente e utilizados na prática da infracção;
b) Interdição do exercício de actividades que dependam de título público ou de autorização ou homologação de autoridade pública;
c) Privação do direito a subsídio ou benefício outorgado por entidades ou serviços públicos;
d) Privação do direito de participar em concursos públicos que tenham por objecto a empreitada ou a concessão de obras públicas, o fornecimento de bens e serviços, a concessão de serviços públicos e a atribuição de licenças ou alvarás;
e) Encerramento de instalação ou estabelecimento sujeito a autorização ou licença de autoridade administrativa;
f) Suspensão de autorizações, licenças e alvarás.

2 — As sanções referidas nas alíneas *b*) a *f*) do número anterior têm a duração máxima de dois anos contados a partir da data da respectiva decisão condenatória definitiva.

Artigo 33.º

Instrução de processos de contra-ordenação e aplicação de sanções

1 — No caso dos sistemas de abastecimento público, a instrução dos processos e a aplicação das coimas é realizada pela autoridade competente, cabendo a aplicação das coimas ao dirigente máximo desta entidade.
2 — No caso dos sistemas de abastecimento particular, a instrução dos processos compete à ASAE e a aplicação das sanções à Comissão de Aplicação das Coimas em Matéria Económica e de Publicidade.

Artigo 34.º

Destino das coimas

O produto das coimas aplicadas nos termos do presente decreto-lei é repartido da seguinte forma:

a) 60 % para o Fundo de Intervenção Ambiental;
b) 30 % para a entidade que instrui o processo;
c) 10 % para a entidade que aplica a coima.

CAPÍTULO VII

Disposições complementares, transitórias e finais

Artigo 35.º

Elaboração e divulgação de relatórios

1 — A autoridade competente elabora anualmente um relatório técnico de aplicação do presente decreto-lei, com base nos dados da qualidade da água disponibilizados pelas entidades gestoras, o qual é objecto de divulgação pública até 30 de Setembro do ano seguinte àquele a que diz respeito, sem prejuízo do disposto no n.º 1 do artigo 17.º
2 — A autoridade competente elabora um relatório trienal relativo à qualidade da água para consumo humano, com base nos relatórios anuais mencionados no número anterior, para efeitos do disposto na alínea *g*) do artigo 36.º
3 — O relatório trienal referido no número anterior deve incluir, pelo menos, os abastecimentos superiores a 1000 m^3/dia em média ou a 5000 pessoas, abranger três anos civis e ser publicado antes do termo do ano seguinte ao período a que respeita.
4 — Juntamente com o relatório trienal, a autoridade competente elabora um outro relatório a remeter à Comissão Europeia relativo às medidas, tomadas ou a tomar, para dar cumprimento ao disposto nos n.os 5, 6, 7 e 8 do artigo 10.º e na n.º 10 da parte II do anexo I do presente decreto-lei.
5 — O modelo e o conteúdo mínimo do relatório referido no n.º 3 são determinados tendo especialmente em conta as medidas referidas no artigo 6.º, no n.º 1 do artigo 7.º, no n.º 1 do artigo 14.º, no n.º 1 do artigo 15.º, nos artigos 18.º, 19.º e 20.º e nos n.os 1, 2 e 3 do artigo 25.º e as alterações introduzidas pelo *comité*.

Artigo 36.º

Comunicação à Comissão Europeia

A autoridade competente comunica à Comissão Europeia:

a) Os valores paramétricos adoptados ao abrigo do n.º 2 do artigo 6.º;
b) As isenções concedidas nos termos do n.º 1 do artigo 7.º;
c) O relatório sobre as medidas tomadas ou previstas para dar cumprimento às obrigações decorrentes nos n.os 5 e 7 do artigo 10.º, até final de Fevereiro do ano seguinte àquele a que dizem respeito;
d) Os métodos analíticos alternativos aos especificados no n.º 1 do anexo IV do presente decreto-lei e respectivos resultados, de acordo com o disposto no n.º 2 do artigo 28.º, até dois meses após o envio do estudo de fiabilidade à autoridade competente;
e) As derrogações concedidas nos termos dos artigos 23.º a 25.º;
f) O balanço relativo à primeira derrogação, previsto no n.º 1 do artigo 24.º, acompanhado dos motivos que justificam a concessão de uma segunda derrogação;
g) O relatório técnico trienal a que se refere o artigo anterior, a remeter à Comissão Europeia no prazo de dois meses após a sua publicação.

Artigo 37.º

Regime transitório

1 — Os parâmetros radiológicos constantes da parte III do anexo I do presente decreto-lei não são de determinação obrigatória até à definição de directrizes por parte da Comissão Europeia, nos termos do disposto no artigo 12.º da Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro.
2 — Sem prejuízo do disposto no número anterior, a autoridade competente promove, após a entrada em vigor do presente decreto-lei, uma caracterização radiológica nacional das águas subterrâneas e superficiais tendente à definição das áreas geográficas em relação às quais passe

a ser obrigatória a determinação dos parâmetros radiológicos.

3 — O estudo referido no número anterior é objecto de divulgação no sítio da Internet da autoridade competente.

4 — Para os efeitos do disposto no n.º 4 do artigo 16.º, os instrumentos de delegação ou concessão já existentes à data de entrada em vigor do presente decreto-lei podem ser alterados para contemplar as obrigações previstas no n.º 1 do mesmo artigo, sendo, até esse momento, o seu cumprimento da responsabilidade do delegante ou concedente.

5 — A ASAE deve realizar a primeira comunicação a que se refere o n.º 2 do artigo 5.º no prazo de um ano a contar da data da sua entrada em vigor.

6 — As entidades gestoras devem cumprir o disposto no n.º 2 do artigo 9.º no prazo de um ano a contar da data da sua entrada em vigor.

7 — A autoridade competente deve criar o esquema de aprovação nacional a que se refere o n.º 3 do artigo 21.º no prazo de um ano a contar da data da sua entrada em vigor.

8 — A partir de 1 de Janeiro de 2010, as determinações analíticas dos parâmetros conducentes ao cumprimento do presente decreto-lei, em termos do controlo da qualidade da água, excepto as referentes ao controlo operacional e à vigilância sanitária, bem como a recolha de amostras nos pontos de amostragem definidos no n.º 2 do artigo 10.º, só podem ser realizadas por laboratórios de análises acreditados para o efeito.

9 — A partir de 1 de Janeiro de 2010, nos casos em que a recolha de amostras não seja realizada por laboratórios nos termos definidos no número anterior, devem os técnicos de amostragem estar devidamente certificados para o efeito por organismos de certificação acreditados ou reconhecidos pelo IPAC.

Artigo 38.º

Regiões Autónomas

1 — O regime do presente decreto-lei aplica-se às Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, sem prejuízo das adaptações decorrentes da estrutura própria da administração regional autónoma a introduzir por diploma regional adequado.

2 — Os serviços e organismos das respectivas administrações regionais autónomas devem remeter à autoridade competente a informação necessária ao cumprimento das comunicações à Comissão Europeia previstas nos artigos 35.º e 36.º, até 30 dias úteis antes do termo do prazo para a autoridade competente efectuar a respectiva comunicação.

Artigo 39.º

Norma transitória

Até à entrada em vigor da Lei Orgânica da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, I. P., as competências que lhe são atribuídas pelo presente decreto-lei são exercidas pelo Instituto Regulador das Águas e Resíduos.

Artigo 40.º

Norma revogatória

São revogados:

a) O Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro;
b) A Portaria n.º 1216/2003, de 16 de Outubro.

Artigo 41.º

Entrada em vigor

1 — Sem prejuízo do disposto nos números seguintes, o presente decreto-lei entra em vigor em 1 de Janeiro de 2008.

2 — O n.º 2 do artigo 9.º do presente decreto-lei entra em vigor em 1 de Janeiro de 2009.

3 — O capítulo III do presente decreto-lei entra em vigor no dia seguinte à sua publicação.

Visto e aprovado em Conselho de Ministros de 28 de Junho de 2007. — *José Sócrates Carvalho Pinto de Sousa — João Titterington Gomes Cravinho — Francisco Carlos da Graça Nunes Correia — Manuel António Gomes de Almeida de Pinho — Jaime de Jesus Lopes Silva — Carmen Madalena da Costa Gomes e Cunha Pignatelli.*

Promulgado em 4 de Agosto de 2007.

Publique-se.

O Presidente da República, ANÍBAL CAVACO SILVA.

Referendado em 9 de Agosto de 2007.

Pelo Primeiro-Ministro, *Fernando Teixeira dos Santos,* Ministro de Estado e das Finanças.

ANEXO I

(a que se refere o n.º 1 do artigo 6.º)

Parâmetros e valores paramétricos

Parte I — Parâmetros microbiológicos

1 — Os valores paramétricos para a água destinada ao consumo humano fornecida por redes de distribuição, por fontanários não ligados à rede de distribuição, por pontos de entrega, por camiões ou navios-cisterna, por reservatórios não ligados à rede de distribuição ou utilizada numa empresa da indústria alimentar são os seguintes:

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade
Escherichia coli (E. coli).	0	Número/100 ml.
Enterococos	0	Número/100 ml.

2 — Os valores paramétricos para as águas colocadas à venda em garrafas ou outros recipientes são os seguintes:

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade
Escherichia coli (E. coli).	0	Número/250 ml.
Enterococos	0	Número/250 ml.
Pseudomona aeruginosa.	0	Número/250 ml.
Número de colónias a 22°C.	100	Número/ml.
Número de colónias a 37°C.	20	Número/ml.

Parte II — Parâmetros químicos

Os valores paramétricos para a água destinada ao consumo humano fornecida por redes de distribuição, por fontanários não ligados à rede de distribuição, por pontos de entrega, por camiões ou navios-cisterna, por reservatórios não ligados à rede de distribuição, utilizada numa empresa da indústria alimentar ou posta à venda em garrafas ou outros recipientes, são os seguintes:

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade	Observações
Acrilamida	0,10	µg/l	V. n. 1.
Antimónio	5,0	µg/l *Sb*	
Arsénio	10	µg/l *As*	
Benzeno	1,0	µg/l	
Benzo(a)pireno	0,010	µg/l	
Boro	1,0	mg/l *B*	
Bromatos	25 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2008). 10 (após 25 de Dezembro de 2008).	µg/l BrO_3	V. n. 2.
Cádmio	5,0	µg/l *Cd*	
Crómio	50	µg/l *Cr*	V. n. 3.
Cobre	2,0	mg/l *Cu*	V. n. 3.
Cianetos	50	µg/l *Cn*	
1,2 dicloroetano	3,0	µg/l	
Epicloridrina	0,10	µg/l	V. n. 1.
Fluoretos	1,5	mg/l *F*	
Chumbo	25 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2013). 10 (após 25 de Dezembro de 2013).	µg/l *Pb*	V. n. 3 e 4.
Mercúrio	1	µg/l *Hg*	
Níquel	20	µg/l *Ni*	V. n. 3.
Nitratos	50	mg/l NO_3	V. n. 5.
Nitritos	0,5	mg/l NO_2	V. n. 5.
Pesticida individual	0,10	µg/l	V. n. 6 e 7.
Pesticidas — total	0,50	µg/l	V. n. 6 e 8.
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP)	0,10	µg/l	Soma das concentrações dos compostos especificados. V. n. 9.
Selénio	10	µg/l *Se*	
Tetracloroeteno e tricloroeteno	10	µg/l	Soma das concentrações dos compostos especificados.
Trihalometanos — total (THM)	150 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2008). 100 (após 25 de Dezembro de 2008).	µg/l	Soma das concentrações dos compostos especificados. V. n. 10.
Cloreto de vinilo	0,50	µg/l	V. n. 1.

Notas

1 — O valor paramétrico refere-se à concentração residual do monómero na água, calculada em função das especificações, fornecidas pelo fabricante, da migração máxima do polímero correspondente em contacto com a água.

2 — O valor deve ser tão baixo quanto possível sem comprometer a eficácia da desinfecção. Quanto à água a que se refere as alíneas *a*), *b*), *c*), *d*) e *f*) do n.º 2 do artigo 10.º, este valor deve ser respeitado, o mais tardar, 10 anos civis após a data de entrada em vigor da Directiva n.º 98/83/CE. No período compreendido entre os 5 e 10 anos após a entrada em vigor da Directiva n.º 98/83/CE, o valor paramétrico para os bromatos é de 25 µg/l BrO_3.

3 — No caso das entidades gestoras em baixa, o valor aplica-se a uma amostra de água destinada ao consumo humano obtida na torneira, por um método de amostragem adequado, e recolhida de modo a ser representativa do valor médio semanal ingerido pelos consumidores. Sempre que apropriado, os métodos de amostragem e de controlo serão postos em prática de maneira harmonizada, a elaborar de acordo com o n.º 4 do artigo 7.º da Directiva n.º 98/83/CE, devendo até lá as entidades gestoras seguir as recomendações emanadas pela autoridade competente. Para as entidades gestoras em alta, não há um método de amostragem específico, o que não as isenta da pesquisa destes parâmetros.

4 — Quanto à água a que se referem as alíneas *a*), *b*), *c*), *d*) e *f*) do n.º 2 do artigo 10.º, este valor deve ser respeitado, o mais tardar, 15 anos civis após a entrada em vigor da Directiva n.º 98/83/CE. No período compreendido entre 5 e 15 anos após a entrada em vigor da Directiva n.º 98/83/CE, o valor paramétrico para o chumbo é de 25 µg/l *Pb*. Devem ser tomadas todas as medidas necessárias para reduzir, tanto quanto possível, a concentração do chumbo na água destinada ao consumo humano durante o período necessário ao cumprimento do valor paramétrico. A aplicação destas medidas deve, prioritariamente, privilegiar os pontos em que as concentrações de chumbo na água destinada ao consumo humano são as mais elevadas. As entidades gestoras devem seguir as recomendações emanadas pela autoridade competente no que diz respeito à amostragem.

5 — Compete às entidades gestoras, nomeadamente dos sistemas com estações de tratamento de água, assegurar à saída dessas estações a condição [nitratos]/50 + [nitritos]/3 ≤ 1, em que os parênteses rectos representam as concentrações em mg/l para os nitratos (NO_3) e para os nitritos (NO_2), bem como do valor limite de 0,10 mg/l para os nitritos.

6 — Entende-se por pesticidas:

a) Insecticidas orgânicos;
b) Herbicidas orgânicos;
c) Fungicidas orgânicos;

d) Nematocidas orgânicos;
e) Acaricidas orgânicos;
f) Algicidas orgânicos;
g) Rodenticidas orgânicos;
h) Controladores orgânicos de secreções viscosas;
i) Produtos afins (nomeadamente reguladores do crescimento), seus metabolitos, produtos de degradação e de reacção importantes.

Só necessitam de ser pesquisados os pesticidas cuja presença seja provável num determinado sistema de fornecimento de água para consumo humano.

Quando a lista referida no n.º 2 do artigo 12.º incluir novos pesticidas para os quais não haja métodos analíticos, nem em Portugal, nem na Europa, a sua pesquisa só é obrigatória quando tais métodos estejam devidamente validados.

7 — O valor paramétrico aplica-se individualmente a cada pesticida. No caso da aldrina, da dialdrina, do heptacloro e do epóxido do cloro, o valor paramétrico é de 0,030 µg/l.

8 — Pesticidas — total significa a soma de todos os pesticidas detectados e quantificados durante o controlo da qualidade da água.

9 — Os compostos especificados são:

a) Benzo[b]fluoranteno;
b) Benzo[k]fluoranteno;
c) Benzo[ghi]perileno;
d) Indeno[1,2,3-cd]pireno.

10 — Sempre que possível, sem que, no entanto, se comprometa a desinfecção, deve ser reduzida a concentração em compostos organoclorados na água. Os compostos especificados são: clorofórmio, bromofórmio, dibromoclorometano e bromodiclorometano. Quanto à água a que se referem as alíneas *a*), *b*), *c*), *d*) e *f*) do n.º 2 do artigo 10.º, este valor (100 µg/l) deve ser respeitado, o mais tardar 10 anos civis após a entrada em vigor da Directiva n.º 98/83/CE. O valor de THM de 150 µg/l deve ser respeitado no período compreendido entre os 5 e os 10 anos após a entrada em vigor da referida directiva.

Devem ser adoptadas todas as medidas necessárias para reduzir, tanto quanto possível, a concentração de THM na água destinada ao consumo humano, durante o período previsto, até o cumprimento do valor paramétrico. A aplicação das medidas deve, prioritariamente, privilegiar os pontos em que as concentrações de THM na água destinada ao consumo humano são mais elevadas.

Parte III — Parâmetros indicadores

Os valores paramétricos estabelecidos apenas para efeitos de controlo da qualidade da água destinada ao consumo humano fornecida por redes de distribuição, por fontanários não ligados à rede de distribuição, por pontos de entrega, por camiões ou navios-cisterna, por reservatórios não ligados à rede de distribuição, utilizada numa empresa da indústria alimentar ou posta à venda em garrafas ou outros recipientes, são os seguintes:

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade	Observações
Alumínio	200	µg/l *Al*	
Amónio	0,50	mg/l NH_4	
Cálcio	-	mg/l *Ca*	V. n. 1, 2 e 5.
Cloretos	250	mg/l *Cl*	V. n. 1.
Clostridium perfringens (incluindo esporos)	0	*N*/100 ml	V. n. 6.
Cor	20	mg/l *PtCo*	
Condutividade	2 500	µS/cm a 20°C	V. n. 1.
Dureza total	-	mg/l $CaCO_3$	V. n. 1, 4 e 5.
pH	≥ 6,5 e ≤ 9	unidades de *pH*	V. n. 1 e 7.
Ferro	200	µg/l *Fe*	
Magnésio	-	mg/l *Mg*	V. n. 1, 3 e 5.
Manganês	50	µg/l *Mn*	
Microcistinas — LR total	1	µg/l	V. n. 16.
Cheiro, a 25°C	3	Factor de diluição	
Oxidabilidade	5	mg/l O_2	V. n. 8.
Sulfatos	250	mg/l SO_4	V. n. 1.
Sódio	200	mg/l *Na*	
Sabor, a 25°C	3	Factor de diluição	
Número de colónias	Sem alteração anormal	*N*/ml a 22°C	V. n. 17 e 18.
Número de colónias	Sem alteração anormal	*N*/ml a 37°C	V. n. 17 e 18.
Bactérias coliformes	0	*N*/100 ml	V. n. 9.
Carbono orgânico total (COT)	Sem alteração anormal	mg/l *C*	V. n. 10 e 18.
Turvação	4	UNT	V. n. 11.
α-total	0,5	Bq/l	V. n. 12 e 14.
β-total	1	Bq/l	V. n. 12 e 14.
Trítio	100	Bq/l	V. n. 12 e 14.
Dose indicativa total	0,10	mSv/ano	V. n. 13, 14 e 15.
Desinfectante residual	-	mg/l	V. n. 19.

Notas

1 — A água não deve ser factor de deterioração dos materiais com os quais está em contacto, ou seja, deve ser desejavelmente equilibrada. Para verificar esta propriedade, podem ser utilizados diversos métodos, nomeadamente o índice de Langelier (IL), que, desejavelmente, deve estar compreendido entre - 0,5 < IL < + 0,5.

2 — Não é desejável que a concentração de cálcio seja superior a 100 mg/l *Ca*.

3 — Não é desejável que a concentração de magnésio seja superior a 50 mg/l *Mg*.

4 — É desejável que a dureza total em carbonato de cálcio esteja compreendida entre 150 mg e 500 mg/l $CaCO_3$.

5 — Quando um sistema de abastecimento é gerido apenas por uma entidade gestora, estes parâmetros devem ser também determinados a montante da distribuição, no âmbito do programa de controlo operacional.

6 — Caso se verifique o incumprimento deste valor paramétrico, deve ser investigado todo o sistema de abastecimento para identificar existência de risco para a saúde humana devido à presença de outros microrganismos patogénicos, por exemplo, o *Criptosporidium*. Os resultados de todas as investigações devem ser incluídas no relatório trienal.

7 — Para a água sem gás contida em garrafas ou outros recipientes, o valor mínimo do *pH* pode ser reduzido para 4,5 unidades. Para a água, em garrafas ou outros recipientes, naturalmente rica ou artificialmente enriquecida em dióxido de carbono, o valor mínimo pode ser mais baixo.

8 — Nos controlos de inspecção, a análise da oxidabilidade não é obrigatória desde que nessa amostra seja determinado o teor de COT. Esta nota não se aplica às zonas de abastecimento com volumes médios diários inferiores a 10 000 m^3, devendo ser sempre determinada a oxidabilidade no controlo de rotina 2.

9 — A unidade é *N*/250 ml para as águas contidas em garrafas ou outros recipientes.

10 — A análise do parâmetro COT é obrigatória para todas as zonas de abastecimento com volumes médios diários superiores a 10 000 m^3.

11 — No caso de águas superficiais, o valor paramétrico da turvação à saída do tratamento deve ser 1 UNT.

12 — Frequências de controlo a estabelecer posteriormente no anexo II ao presente decreto-lei.

13 — Com excepção do trítio, potássio-40, radão e produtos de desintegração do radão, frequências de controlo, métodos de controlo e localizações mais adequadas para os pontos de controlo a estabelecer posteriormente no anexo II ao presente decreto-lei.

14 — As propostas a apresentar nos termos da n. 11, sobre frequências de controlo, e da n. 12, sobre frequências de controlo, métodos de controlo e localizações mais adequadas para os pontos de controlo, do anexo II ao presente decreto-lei serão adoptadas nos termos do artigo 12.º da Directiva n.º 98/83/CE.

15 — A dose indicativa total só é determinada quando ocorrem incumprimentos dos parâmetros α-total e ou β-total. Nestes casos procede-se à determinação das concentrações dos radionuclídeos específicos emissores α e ou β.

16 — Este parâmetro deve ser determinado à saída da estação de tratamento de água, quando há suspeitas de eutrofização da massa de água superficial. Caso seja confirmado um número de cianobactérias potencialmente produtoras de microcistinas superior a 2000 células/ml deve ser aumentada a frequência de amostragem, no âmbito do programa de controlo operacional.

17 — Não é desejável que o número de colónias a 22°C e a 37°C seja superior a 100 e 20, respectivamente.

18 — Sem alteração anormal significa, com base num histórico de análises, resultados dentro dos critérios estabelecidos pelas entidades gestoras. Quando ocorre uma alteração anormal, é desejável que a entidade gestora averigúe as respectivas causas.

19 — Recomenda-se que as concentrações deste parâmetro estejam entre 0,2 e 0,6 mg/l de cloro residual livre. A determinação deste parâmetro não é obrigatória nas situações previstas no n.º 3 do artigo 9.º do presente decreto-lei.

ANEXO II

(a que se refere o n.º 1 do artigo 10.º)

Controlo da qualidade da água

Este anexo tem por objectivo definir os controlos de rotina e inspecção, assim como as frequências mínimas de amostragem, para a análise da água destinada ao consumo humano fornecida por sistemas de abastecimento público, redes de distribuição, fontanários, camiões ou navios-cisterna, utilizada numa empresa de indústria alimentar e à venda em garrafas e outros recipientes.

QUADRO A

Parâmetros a analisar

Controlo de rotina. — Tem como objectivo fornecer regularmente informações sobre a qualidade organoléptica e microbiológica da água destinada ao consumo humano, bem como sobre a eficácia dos tratamentos existentes, especialmente a desinfecção, tendo em vista determinar a conformidade da água com os valores paramétricos estabelecidos no presente decreto-lei.

Parâmetros do controlo de rotina 1:

a) Bactérias coliformes;
b) *Escherichia coli (E. coli);*
c) Desinfectante residual.

Parâmetros do controlo de rotina 2:

a) Alumínio (v. n. 1);
b) Amónio;
c) Cheiro;
d) Cor;
e) Condutividade;
f) *Clostridium perfringens,* incluindo esporos (v. n. 2);
g) *pH;*
h) Ferro (v. n. 1);
i) Manganês;
j) Nitratos;
k) Nitritos (v. n. 3);
l) Número de colónias a 22°C;
m) Número de colónias a 37°C;
n) Oxidabilidade;
o) Pseudomona aeruginosa (v. n. 4);
p) Sabor;
q) Turvação.

Controlo de inspecção. — O controlo de inspecção tem como objectivo obter as informações necessárias para verificar o cumprimento dos valores paramétricos do presente decreto-lei.

Todos os parâmetros fixados de acordo com o artigo 6.º devem ser sujeitos ao controlo de inspecção, com excepção dos casos em que a Direcção-Geral da Saúde autorizar a sua não determinação, por um período por ela fixado, por entender que é improvável a presença desse parâmetro em concentrações que impliquem o incumprimento dos valores paramétricos. Este parágrafo não é aplicável aos parâmetros de radioactividade sujeitos às n. 12, 13, 14 e 15 da parte III do anexo I ao presente decreto-lei, que devem ser controlados segundo os requisitos de controlo adoptados nos termos do artigo 12.º da Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro.

Notas

1 — Nas situações em que é utilizado como agente floculante deve ser determinado no controlo de rotina 2. Nas restantes situações, este parâmetro faz parte do controlo de inspecção.

2 — Nos casos em que a origem da água não seja superficial nem seja influenciada por águas superficiais, este parâmetro faz parte do controlo de inspecção.

3 — Nos casos em que o processo de desinfecção não inclua a cloraminação (utilização em simultâneo de amónia e cloro), este parâmetro faz parte do controlo de inspecção.

4 — Necessário só para água à venda em garrafas ou outros recipientes.

QUADRO B1

Frequência mínima de amostragem e de análise da água destinada para consumo humano fornecida por uma rede de distribuição, por fontanários, por um camião-cisterna ou fornecida para uma empresa da indústria alimentar

Tipo de controlo (v. n. 1)	Parâmetro	Volume de água fornecida na zona de abastecimento (metros cúbicos por dia).	Número de amostras por ano (v. n. 2, 3 e 4)
Controlo de rotina 1	*Escherichia coli (E. coli)*	< 100	6
	Bactérias coliformes. . . . . . Desinfectante residual	≥ 100	12/5 000 hab

Tipo de controlo (v. n. 1)	Parâmetro	Volume de água fornecida na zona de abastecimento (metros cúbicos por dia).	Número de amostras por ano (v. n. 2, 3 e 4)
Controlo de rotina 2	Alumínio Amónio Número de colónias a 22°C Número de colónias a 37° Condutividade *Clostridium perfringens,* incluindo esporos Cor *pH* Ferro Manganês Nitratos Nitritos Oxidabilidade Cheiro Sabor Turvação	< 100	2
		> 100 e ≤ 1 000	4
		> 1 000	4 + 3 por cada 1 000 m^3/dia + 3 por fracção remanescente do volume total.
Controlo de inspecção	Antimónio Arsénio Benzeno Benzo(a)pireno Boro Bromatos Cádmio Cálcio Chumbo Cianetos Cobre Crómio 1,2-dicloroetano Dureza total *Enterococos* Fluoretos Magnésio Mercúrio Níquel HAP Pesticidas individuais Pesticidas (total) Selénio Cloretos Tetracloroeteno e tricloroeteno Trihalometanos Sódio Carbono orgânico total Sulfatos Cloreto de vinilo Epicloridrina Acrilamida	≤ 1 000	1
		> 1 000 e ≤ 10 000	1 + 1 por cada 3 300 m^3/dia + 1 por fracção remanescente do volume total.
		> 10 000 e ≤ 100 000	3 + 1 por cada 10 000 m^3/dia + 1 por fracção remanescente do volume total.
		> 100 000	10 + 1 por cada 25 000 m^3/dia e fracção remanescente do volume total.

As entidades gestoras devem colher amostras nos pontos obrigatórios definidos no n.º 2 do artigo 10.º para se assegurarem de que a água destinada ao consumo humano satisfaz os requisitos do presente decreto-lei. No entanto, no caso de uma rede de distribuição, as entidades gestoras podem colher amostras dentro da zona de abastecimento ou na estação de tratamento de água para a análise de determinados parâmetros, se for possível demonstrar que não há alteração negativa no valor dos parâmetros medidos.

Notas

1 — A determinação dos parâmetros correspondentes ao controlo de rotina 2 implica, em simultâneo, a determinação dos parâmetros contidos no controlo de rotina 1 e, identicamente, o controlo de inspecção implica os controlos de rotina 1 e 2.

2 — No caso de fornecimento intermitente de curto prazo, compete à autoridade de saúde, em conjunto com a autoridade competente, fixar a frequência a cumprir e os parâmetros a determinar.

3 — Para os parâmetros do anexo I do presente decreto-lei, a entidade gestora pode pedir à autoridade competente a redução da frequência especificada no quadro B1 quando:

a) Os valores dos resultados obtidos na verificação da qualidade da água para consumo humano durante um período de, pelo menos, dois anos consecutivos forem constantes e significativamente melhores que os valores paramétricos estabelecidos no anexo I ao presente decreto-lei;

b) Não tiver sido detectado qualquer factor susceptível de causar deterioração da qualidade da água.

A frequência mínima aplicável não deve ser menos de 50 % do número de amostras especificadas no quadro, excepto no caso especial de abastecimentos em baixa inferiores a 100 m^3/dia e abastecimentos em alta inferiores a 250 m^3/dia, onde não se aplica a redução da frequência de amostragem.

4 — O número de amostragens correspondentes à avaliação de conformidade deve ser distribuído equitativamente no espaço e no tempo, de acordo com os critérios definidos pela autoridade competente.

QUADRO B2

Frequência mínima de amostragem e de análise da água destinada para consumo humano fornecida por uma entidade gestora em alta

Volume de água fornecida em alta (metros cúbicos por dia)	Tipos de controlo da água para consumo humano		
	Controlo de rotina 1	Controlo de rotina 2 (v. n. 1)	Controlo de inspecção (v. n. 1)
≤ 250	2	2	1
> 250 e ≤ 1 000	6	2	1
> 1 000 e ≤ 2 000	12	4	1
> 2 000 e ≤ 5 000	18	6	1
> 5 000 e ≤ 15 000	24	8	2
> 15 000 e ≤ 25 000	72	24	4
> 25 000 e ≤ 50 000	104	36	4
> 50 000 e ≤ 100 000	156	52	6
> 100 000	365	104	12

Nota. — Para os parâmetros conservativos, o controlo analítico deve ser feito de modo a respeitar a frequência mínima exigida para a baixa.

QUADRO B3

Frequência mínima de amostragem e análise de águas colocadas à venda em garrafas ou outros recipientes

Volume de água produzida (v. n. 1) para colocação à venda em garrafas ou outros recipientes (metros cúbicos por dia)	Controlo de rotina 1 e controlo de rotina 2 — Número de amostras por ano	Controlo de inspecção — Número de amostras por ano
≤ 10	1	1
> 10 e ≤ 60	12	1
> 60	1 por cada 5 m^3 e fracção remanescente para o volume total	1 por cada 100 m^3 e fracção remanescente para o volume total

Nota. — Os volumes são calculados como médias durante um ano civil.

ANEXO III

(a que se refere o n.º 2 do artigo 14.º)

Programa de controlo da qualidade da água

Fazem parte do programa de controlo da qualidade da água, a enviar no formato definido pela autoridade competente, os seguintes elementos:

a) Identificação da entidade gestora responsável pelo controlo da qualidade da água para consumo humano;

b) Identificação e localização das origens de água, com indicação da sua natureza superficial ou subterrânea;

c) Identificação e localização dos pontos de entrega de água entre entidades gestoras;

d) Identificação e localização das zonas de abastecimento, no caso das entidades gestoras em baixa;

e) Descrição do tratamento aplicado à água fornecida em cada ponto de entrega ou zona de abastecimento;

f) Volumes médios diários anuais fornecidos nos pontos de entrega entre entidades gestoras;

g) Volumes médios diários anuais à entrada das zonas de abastecimento, no caso das entidades gestoras em baixa. Os volumes indicados pela entidade gestora devem ser preferencialmente medidos. Na ausência destes valores, deve-se utilizar a capitação 200 l/hab/dia. Quando uma entidade gestora adquire a água a outra, deve considerar o volume médio diário comprado;

h) População servida por zona de abastecimento, no caso das entidades gestoras em baixa. Não tendo a entidade gestora dados exactos, deve recorrer ao valor constante dos últimos censos populacionais;

i) Identificação dos pontos de amostragem por ponto de entrega entre entidades gestoras;

j) Identificação dos pontos de amostragem por zona de abastecimento, no caso das entidades gestoras em baixa. No caso das entidades gestoras em baixa, o número de pontos de amostragem não pode ser inferior a 75 % do número mínimo legal de controlos de rotina 1 a efectuar por zona de abastecimento, excluindo-se casos excepcionais que deverão ser apreciados pela autoridade competente. Estes pontos devem estar distribuídos equitativamente no espaço, respeitando os critérios emanados pela autoridade competente. No caso das entidades gestoras em alta, todos os locais físicos do ponto de entrega devem constituir pontos de amostragem;

l) Cronograma da amostragem. O cronograma deve conter, além da indicação dos pontos de amostragem, as datas exactas, respeitando uma distribuição equitativa no tempo para os diferentes tipos de controlo, de acordo com os critérios emanados pela autoridade competente;

m) Lista de parâmetros a analisar por tipo de controlo, incluindo os pesticidas a pesquisar, por ponto de entrega ou zona de abastecimento;

n) Laboratório responsável pelo controlo da qualidade da água.

ANEXO IV

(a que se refere o n.º 1 do artigo 28.º)

Especificações para análise dos parâmetros

1 — Parâmetros com métodos de análise especificados: os princípios relativos aos métodos para parâmetros microbiológicos a seguir enunciados são-no quer a título de referência, quando se indica um método CEN/ISO, quer a título de orientação enquanto se aguarda uma possível adopção futura nos termos do procedimento estabelecido

no artigo 12.º («Comitologia») da Directiva n.º 98/83/CE, de métodos internacionais CEN/ISO para esses parâmetros. Podem ser utilizados métodos alternativos, desde que sejam cumpridas as disposições do artigo 28.º e da alínea *d*) do n.º 1 do artigo 36.º:

a) Bactérias coliformes e *Escherichia coli (E. coli)* (ISO 9308-1);
b) Enterococos (ISO 7899-2);
c) Pseudomona aeruginosa (EN ISO 12780);
d) Enumeração de microrganismos viáveis — número de colónias a 22°C (EN ISO 6222);
e) Enumeração de microrganismos viáveis — número de colónias a 37°C (EN ISO 6222);
f) *Clostridium perfringens* (incluindo esporos).

Filtração em membrana seguida de incubação anaeróbia da membrana em m-CP ágar (v. n. 1) a 44°C ± 1°C durante 21 ± 3 horas. Contagem das colónias amarelas opacas que passam a rosa ou vermelho após exposição, durante vinte a trinta segundos, a vapores de hidróxido de amónio.

Nota. — A composição do meio de base para m-CP ágar é a seguinte:

Produto	Quantidade
Triptose	30 g
Extrato de levedura	20 g
Sacarose	5 g
Hidrocloreto de L-cisteína	1 g
$MgSO_4.7H_2O$	0,1 g
Púrpura de bromocresol	40 mg
Ágar	15 g
Água	1 000 ml

Dissolução dos ingredientes do meio de base e ajuste do *pH* a 7,6. Esterilização a 121°C durante quinze minutos. Deixar arrefecer e adicionar:

Produto	Quantidade
D-ciclocerina	400 mg
Sulfato de B-poliximina	25 mg
Indoxilo B-D-glucosido dissolvido em 8 ml de água previamente esterilizada	60 mg
Solução 0,5 % de difosfato de fenolftaleína, previamente filtrada e esterilizada	20 ml
Solução a 4,5 % de $FeCl_3.6H_2O$	2 ml

2 — Parâmetros para os quais são especificadas as características de desempenho dos métodos analíticos a utilizar:

a) Para os parâmetros do quadro seguinte, as características de desempenho dos métodos utilizados devem, no mínimo, ser capazes de medir concentrações iguais ao valor paramétrico com a exactidão, a precisão e os limites de detecção especificados. Qualquer que seja a sensibilidade do método de análise utilizado, o resultado deve ser expresso usando, no mínimo, o mesmo número de casas decimais que os valores especificados mas partes II e III do anexo I do presente decreto-lei;

b) Para o *pH*, as especificações do método são as seguintes: o método deve ser capaz de medir o valor paramétrico com a exactidão de 0,2 unidades de *pH* e de precisão de 0,2 unidades de *pH*.

	Exactidão — Percentagem do valor paramétrico (v. n. 1)	Precisão — Percentagem do valor paramétrico (v. n. 2)	Limite de detecção — Percentagem do valor paramétrico (v. n. 3)	Condições	Observações
Acrilamida				A controlar em função da especificação do produto.	
Alumínio	10	10	10		
Amónio	10	10	10		
Antimónio	25	25	25		
Arsénio	10	10	10		
Benzo(a)pireno	25	25	25		
Benzeno	25	25	25		
Boro	10	10	10		
Bromatos	25	25	25		
Cádmio	10	10	10		
Cálcio	10	10	10		
Cloretos	10	10	10		
Crómio	10	10	10		
Condutividade	10	10	10		
Cobre	10	10	10		
Cianetos	10	10	10		V. n. 4.
1,2 dicloroetano	25	25	10		
Dureza total	10	10	10		
Epicloridrina				A controlar em função da especificação do produto.	
Ferro	10	10	10		
Fluoretos	10	10	10		
Chumbo	10	10	10		

	Exactidão — Percentagem do valor paramétrico (v. n. 1)	Precisão — Percentagem do valor paramétrico (v. n. 2)	Limite de detecção — Percentagem do valor paramétrico (v. n. 3)	Condições	Observações
Magnésio	10	10	10		
Manganês	10	10	10		
Mercúrio	20	10	10		
Níquel	10	10	10		
Nitratos	10	10	10		
Nitritos	10	10	10		
Oxidabilidade	25	25	10		V. n. 5.
Pesticidas	25	25	25		V. n. 6.
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos	25	25	25		V. n. 7.
Selénio	10	10	10		
Sódio	10	10	10		
Sulfatos	10	10	10		
Tetracloroetano	25	25	10		V. n. 8.
Tricloroetano	25	25	10		V. n. 8.
Trihalometanos total	25	25	10		V. n. 7.
Cloreto de vinilo				A controlar em função da especificação do produto.	

Notas

1 — A exactidão corresponde ao erro sistemático e é igual à diferença entre o valor médio de um grande número de medições repetidas e o valor real (estes termos são definidos de forma mais completa na norma ISO 5725).

2 — A precisão corresponde ao erro aleatório, que é obtido geralmente a partir do desvio padrão (no interior de cada lote e entre lotes) da dispersão dos resultados em torno da média. Uma precisão aceitável é igual a duas vezes o desvio padrão relativo (estes termos são definidos de forma mais completa na norma ISO 5725).

3 — O limite de detecção é igual a três vezes o desvio padrão relativo no interior de cada lote de uma amostra experimental contendo uma baixa concentração do parâmetro ou cinco vezes o desvio padrão relativo no interior de cada lote da amostra de controlo.

4 — O método deve determinar os cianetos totais, isto é, presentes em todas as suas formas.

5 — A determinação da oxidabilidade deve ser efectuada, em meio ácido, com permanganato de potássio, a 100°C durante dez minutos.

6 — As características de desempenho dos métodos de análise aplicam-se a cada pesticida individual e dependem do pesticida em causa. O limite de detecção pode não ser actualmente conseguido para todos os pesticidas, mas deve-se procurar evoluir nesse sentido.

7 — As características de desempenho dos métodos de análise aplicam-se às substâncias individuais especificadas como 25 % do valor paramétrico constante do anexo I.

8 — As características de desempenho dos métodos de análise aplicam-se às substâncias individuais especificadas como 50 % do valor paramétrico constante do anexo I do presente decreto-lei.

3 — Parâmetros para os quais não é especificado qualquer método de análise:

a) Cor;
b) Cheiro;
c) Sabor;
d) Carbono orgânico total;
e) Turvação (v. n. 1).

Nota. — Para o controlo da turvação das águas superficiais tratadas, o método analítico utilizado deve, no mínimo, ser capaz de determinar concentrações iguais ao valor paramétrico com uma exactidão de 25 %, uma precisão de 25 % e um limite de detecção de 25 %.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DO DESENVOLVIMENTO RURAL E DAS PESCAS

Portaria n.º 980/2007

de 27 de Agosto

Pela Portaria n.º 1203/2002, de 2 de Setembro, foi concessionada à Casa Agrícola das Três Barragens a zona de caça turística da Herdade da Retorta (processo n.º 3106-DGRF), situada no município de Sousel.

A concessionária requereu agora a anexação à referida zona de caça de vários prédios rústicos.

Esta anexação sobrepõe-se em parte à zona de caça associativa da Herdade da Retorta e outras (processo n.º 123-DGRF), cuja concessão termina em 14 de Agosto de 2007.

Assim:

Com fundamento no disposto no artigo 11.º e na alínea *a*) do artigo 40.º do Decreto-Lei n.º 202/2004, de 18 de Agosto, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 201/2005, de 24 de Novembro, e ouvido o Conselho Cinegético Municipal:

Manda o Governo, pelo Ministro da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, o seguinte:

1.º É extinta a zona de caça associativa da Herdade da Retorta e outras (processo n.º 123-DGRF), na parte respeitante aos prédios rústicos que, de acordo com o número seguinte, vão ser anexados à zona de caça turística da Herdade da Retorta (processo n.º 3106-DGRF).

2.º São anexados à presente zona de caça vários prédios rústicos situados na freguesia de Casa Branca, município de Sousel, com a área de 223 ha, ficando a mesma com a área total de 648 ha, conforme planta anexa à presente portaria e que dela faz parte integrante.

ANEXO 5

Norma relativa às disposições de segurança, hígio-sanitárias, técnicas e funcionais nas piscinas

Norma23/93:

NOAH

NORMATIVA 23/93 CNQ

DIRECTIVA CNQ N.º 23/93

"A QUALIDADE NAS PISCINAS DE USO PÚBLICO"

PREÂMBULO

A procura das piscinas para actividades desportivas, recreativas e terapêuticas tem conhecido um grande desenvolvimento e é incentivada, a vários níveis, como prática salutar, quer em termos de desenvolvimento físico quer em termos lúdicos.
Nas últimas décadas diversas instituições, entidades públicas ou particulares, têm pretendido corresponder a esta necessidade colocando à disposição dos cidadãos um elevado número de piscinas que, embora significativo, deve ser considerado globalmente insuficiente.
Todavia, ao aumento em quantidade não tem correspondido a desejável melhoria de qualidade, atendendo às deficiências nas condições higiénicas da água, nas condições de segurança, nos excessos de lotação, na localização e nas disposições funcionais gerais que se manifestam em grande número de piscinas.
As preocupações expressas no Conselho Nacional de Qualidade quanto à necessidade de se intervir para o incremento da qualidade nos serviços, levaram à elaboração de algumas disposições tendentes a melhorar as condições hígio-sanitárias, de segurança, de implantação e localização, do tratamento de água e das disposições técnicas e funcionais das piscinas e dos estabelecimentos dedicados a actividades recreativas aquáticas correlacionadas, de uso público.
Salienta-se que estas disposições devem ser observadas na ausência de outras normas ou requisitos legais que sejam aplicáveis, e sem prejuízo das competências reconhecidas aos diferentes organismos da administração central e local nas matérias correspondentes.

1 CONSELHO NACIONAL DA QUALIDADE

NOAH

NORMATIVA 23/93 CNQ

1 - OBJECTIVO E ÂMBITO DE APLICAÇÃO

1.1 - A presente directiva tem por objecto, fixar, com carácter geral, as disposições de segurança, hígio-sanitárias, técnicas e funcionais, que devem ser observadas nas piscinas e nos estabelecimentos dedicados a actividades recreativas aquáticas correlacionadas, de uso público.

1.2 - A presente directiva não é aplicável às piscinas de uso familiar, ou para uso de condomínios ou de unidades de vizinhança, até um máximo de vinte unidades de habitação permanentes. São igualmente excluídas da aplicação da presente directiva, as piscinas para usos exclusivamente terapêuticos ou termais, nas quais se desenvolvam actividades submetidas a um controlo sanitário específico.

2 -DEFINIÇÕES

Para efeitos da presente directiva considera-se como:

2.1 - Piscina – uma parte ou um conjunto de construções e instalações que inclua um ou mais tanques artificiais apetrechados para fins balneares e actividades recreativas, formativas ou desportivas aquáticas.
O termo piscina, pode ser igualmente empregue para designar os tanques onde se desenvolvam as actividades aquáticas referidas.

2.2 - Piscinas de uso público – as piscinas e os estabelecimentos de recreação aquática que podem ser utilizados pelo público em geral, independentemente da sua titularidade ou forma de ingresso, e estejam ou não integradas em espaços públicos municipais, clubes desportivos, escolas, parques de campismo, hotéis, complexos turísticos.

3 - CLASSIFICAÇÃO

As piscinas podem classificar-se com base nos seguintes critérios:

a) Ambiente ou tipologia construtiva;

b) Valência ou tipologia funcional;

3.1 - Quanto à natureza ambiental ou tipologia construtiva, as piscinas distinguem-se em:

a) Piscinas ao ar livre, se constituem com um ou mais tanques artificiais não confinados por estruturas de cobertura e envolvente fixas e permanentes;

b) Piscinas cobertas, quando comportem um ou mais tanques artificiais confinados em ambientes constituídos por estruturas fixas e permanentes;

c) Piscinas combinadas, quando comportam tanques ao ar livre e tanques cobertos utilizáveis em simultâneo;

d) Piscinas convertíveis, se constituem um complexo com um ou mais tanques artificiais cujos elementos da envolvente ambiental permitam que as actividades se desenvolvam ao ar livre ou em espaço coberto, em função das condições atmosféricas existentes;

3.2 - Quanto à valência ou tipologia funcional, as piscinas podem classificar-se nos seguintes grupos principais, em função das características morfológicas e funcionais dos tanques:

a) Tanques Desportivos

b) Tanques de Aprendizagem e Recreio

c) Tanques Infantis ou Chapinheiros

d) Tanques de Recreio e Diversão

e) Tanques Polifuncionais ou Polivalentes

3.2.1 - O grupo dos Tanques Desportivos, compreende aqueles cujos requisitos geométricos e construtivos são adequados para a prática da natação e modalidades derivadas, no âmbito do treino e da competição desportiva, respeitando as

exigências específicas e os níveis de prestação a que se destinam, e em conformidade com as normas estabelecidas pela Federação.

Portuguesa de Natação (FPN) e pela Federação Internacional de Natação Amadora (FINA) para efeitos de homologação de competições de natação, pólo aquático, saltos para a água e natação sincronizada, para além de outras normas oficiais que vigorem relativamente a infra-estruturas desportivas e á organização de competições e de espectáculos desportivos. As profundidades são determinadas pelas modalidades praticáveis, mas as mínimas, em qualquer caso, serão de 1.0m.

3.2.2 - Tanques de Aprendizagem e Recreio, são aqueles que apresentam os requisitos morfológicos e funcionais adequados para as actividades formativas e propedêuticas das disciplinas natatórias, para o jogo, o recreio e a manutenção. A profundidade máxima destes tanques é de 1.50 m, e não devem apresentar, em pelo menos 2/3 da sua superfície, profundidades superiores a 1.10m.

3.2.3 - Tanques Infantis ou Chapinheiros, são os que preenchem os requisitos funcionais e construtivos idóneos para a utilização autónoma por crianças até aos 6 Anos de idade e dispõem de profundidades não superiores a 0.45m, com o máximo de 0.20m junto aos bordos. Quando se prevejam dois ou mais tanques infantis próximos entre si, um deles poderá ter profundidade máxima de 0.60m. Constituem-se sempre como tanques independentes e convenientemente afastados dos tanques para outros usos.

3.2.4 - São tanques de Recreio e Diversão, os que comportam características morfológicas e funcionais que os tornam particularmente adequadas para o recreio e a diversão aquática, nomeadamente através de acessórios lúdicos tais como: escorregas, cascatas, sistemas de formação de ondas, sistemas de produção de repuxos e jactos de água, ou outros dispositivos de animação permanentes. As profundidades destes tanques serão inferiores a 1.30m em pelo menos 2/3 da sua superfície, com o máximo de 2.0 m nas zonas mais profundas

3.2.5 - Tanques Polifuncionais ou Polivalentes, são os que apresentam soluções geométricas e construtivas que combinam características de diferentes tipologias de tanques, ou que dispõem de paredes e fundos móveis ou outros dispositivos de reconversão morfológica que permitam variar as suas características geométricas e adaptá-los para diferentes categorias de utentes e de actividades, com excepção dos usos e vocações previstos exclusivamente para os chapinheiros.

4 - DISPOSIÇÕES GERAIS E ESPECÍFICAS

Estabelecem-se em anexo que faz parte integrante da presente directiva, as disposições técnicas gerais e específicas relativas à localização e implantação, à concepção e organização funcional, à lotação, aos serviços anexos, às condições de segurança nos tanques, às escadas e acessos aos tanques, às torres de saltos e trampolins, aos escorregas aquáticos, aos requisitos de qualidade e tratamento da água, aos requisitos térmicos e de ventilação, aos requisitos de iluminação e acústica, e aos requisitos de pessoal e funcionamento e ao registo sanitário.

ANEXO

DISPOSIÇÕES TÉCNICAS GERAIS E ESPECÍFICAS

Capitulo 1

LOCALIZAÇÃO E IMPLANTAÇÃO

1.1 - O local de implantação de uma piscina, deve reunir as melhores condições de exposição aos raios solares, de protecção contra os ventos dominantes, de afastamento e de protecção relativamente a fontes de poluição atmosférica, hídrica e sonora. Deve igualmente possuir aptidão para que as soluções construtivas adoptadas não se traduzam em impactes ambientais negativos.

NOAH

NORMATIVA 23/93 CNQ

1.2 - O local deve estar afastado de corredores de linhas eléctricas de alta tensão, de linhas férreas, de auto-estradas e vias de tráfego intenso, e de quaisquer infra-estruturas que possam, de alguma forma, traduzir-se em situações de risco para a segurança no acesso e na utilização dos equipamentos.

1.3 - Os locais para implantação de piscinas, devem estar racionalmente integrados em espaços urbanizados, com boas condições de acessibilidade, próximos de escolas e de zonas residenciais e, preferencialmente, complementares de outros espaços públicos de lazer e de desporto existentes no território.

1.4 - O local de implantação deve reunir condições de fácil acesso às redes de infra-estruturas e serviços urbanos, nomeadamente às redes de abastecimento e distribuição de água potável, condução de esgotos pluviais e domésticos, distribuição de energia eléctrica, distribuição de gás e serviços de recolha de resíduos sólidos. O local deve ainda garantir condições de comunicação e de fácil acesso aos meios de socorro e de emergência.

1.5 - A área do local de implantação de piscinas ao ar livre, convertíveis ou de tipo combinado, deverá ser superior a oito vezes a superfície total de planos de água, excluindo as áreas de protecção, acessos e estacionamentos. Para piscinas cobertas, a área de implantação deverá ser superior a 4 vezes a superfície de plano de água correspondente.

Capítulo 2

CONCEPÇÃO E ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL

2.1 - As piscinas e os estabelecimentos de recreação aquática, deverão conceber-se, de modo a que as diferentes funções espaciais que as integram, se repartam pelas seguintes zonas ou sectores de actividades:
a) Zona de banho ou zona de cais, constituída pelos tanques de natação ou de

actividades, pela plataforma ou área de cais que se desenvolve contígua e perimetralmente aos tanques, e pelos eventuais espaços de solários para repouso e recreio estabelecidos em áreas adjacentes ao cais.

b) Zona de serviços anexos, que compreende os locais dos vestiários, balneários e sanitários para os banhistas, locais para os vigilantes, monitores técnicos e pessoal encarregado da manutenção e administração, locais de primeiros socorros, e os locais de guarda-roupa e de arrecadação de material de animação e de treino.

c) Zona de serviços técnicos, que inclui os espaços e as instalações para o tratamento da água, aquecimento de águas e climatização, instalações eléctricas e de difusão sonora, instalações de combate a incêndios e, de um modo geral, todos os locais indispensáveis para a condução das instalações técnicas.

d) Zona de serviços complementares ou zona de público, que compreenderá todos os espaços e serviços independentes dos circuitos dos banhistas e acessíveis ao público espectador e visitantes não-banhistas, incluindo os eventuais locais reservados para a comunicação social, áreas de bares e restaurantes, salas de reuniões e de jogos, e outros espaços complementares de animação e recreação acessórios da natureza funcional das piscinas.

2.2 - A concepção e a organização funcional das piscinas deverá ser tal que nenhum banhista possa aceder ao cais ou zona de banho, sem prévia passagem pelo bloco de serviços anexos que incluirá locais de vestiário e troca de roupa, instalações sanitárias e balneários equipados com chuveiros de uso obrigatório.

2.3 - Nos locais de comunicação dos balneários com a zona de banho ou cais das piscinas, e em todos os outros locais que lhe dêem acesso, deverão ser previstos lava-pés alimentado por água corrente e desinfectada, concebidos e dimensionados para tornar inevitável o seu atravessamento.
Este lava-pés será esvaziado pelo menos diariamente.

NOAH

NORMATIVA 23/93 CNQ

2.4 - Os locais de acesso ao cais das piscinas a partir dos balneários, devem situar-se na proximidade das zonas de menor profundidade dos tanques ou do lado dos tanques infantis e tanques de aprendizagem, quando estes existam.
Excepcionalmente, estes acessos poderão localizar-se junto ás zonas ou tanques de maior profundidade, se nesses locais a largura do cais for de, pelo menos, 3.0 metros, e esteja prevista uma guarda com corrimão em frente ao lava-pés e com desenvolvimento paralelo ao bordo do tanque e a pelo menos 1.50m do paramento interior deste. Esta guarda terá 1.20m de altura e desenvolver-se-á por 5.0m, no mínimo.

2.5 - Nas piscinas ao ar livre, combinadas ou convertíveis, em que se prevejam espaços exteriores ao cais acessíveis aos banhistas, nomeadamente solários e zonas relvadas de repouso e recreio, esplanadas, etc., deverão ser adoptadas barreiras arquitectónicas ou separadores de vegetação ornamental, que impeçam a passagem entre estas zonas e o cais das piscinas, sem ser exclusivamente em locais previstos para o efeito e constituídos por lava-pés equipados com chuveiros.
Estes lava-pés serão alimentados com água corrente e desinfectada, e esvaziados diariamente, no mínimo.

2.6 - São formalmente interditos os canais lava-pés ou lava-pés contínuos dispostos perimetralmente aos tanques, bem como os chuveiros de cais ou outros dispositivos para duches que não estejam integrados nos lava-pés previstos nos pontos de passagem permitida.

2.7 - Na concepção, dimensionamento e distribuição do lava-pés e circulações Referidas neste capítulo, deverão tomar-se em consideração as exigências. Relativas à acessibilidade dos deficientes motores e as facilidades de circulação associadas à movimentação de pessoal e meios de prestação de socorros em caso de acidentes.

2.8 - As piscinas deverão dispor de espaços de cais que se constituam como zonas

de pavimentos anti-derrapantes e de comprovada qualidade higiénica, estabelecidos de nível com os bordos dos tanques contíguos, e livres de quaisquer obstáculos fixos, numa faixa de pelo menos 2.0m de largura, em geral. e de 3.0m nos topos de tanques desportivos. Junto aos tanques desportivos de 50.0m e tanques de saltos, a largura do cais deverá ser de 5.0m junto aos topos de partidas e de saltos, e de 3.0 m nas outras margens, como mínimo.

2.9 - A superfície total das zonas de cais, deverá corresponder a, pelo menos, 4/5 da superfície total de plano de água dos tanques adjacentes. Nas piscinas de ar livre, combinadas ou convertíveis, deverão ainda prever-se zonas complementares de solário e de repouso que, em conjunto com as áreas de cais, devem totalizar uma superfície igual, no mínimo, a 4 vezes a superfície de plano de água das piscinas.
Capítulo 3

LOTAÇÃO

3.1 - O número máximo de banhistas que poderão ser admitidos em simultâneo numa piscina, define-se como lotação máxima instantânea ou utência de ponta, que será calculada com base na área total de superfícies de plano de água de todos os tanques que constituam a instalação, de acordo com as seguintes relações:
a) Piscinas cobertas : 1 banhista por cada 2m2 de plano de água;
b) Piscinas ao ar livre e piscinas convertíveis: 1 banhista por cada m2 de plano de água.

3.2 - Em estabelecimentos equipados com chapinheiros ou piscinas infantis com profundidades inferiores a 0.45m, ou com tanques desportivos independentes para saltos e mergulho com profundidades superiores a 3.0 metros, para o cálculo da referida utência de ponta, poderá considerar-se apenas 2/3 das áreas correspondentes a estes tanques.

3.3 - Nas piscinas combinadas, a utência de ponta, será determinada pela aplicação

das regras definidas em 3.1.a), 3.1.b) e 3.2., às áreas dos tanques cobertos e ao ar livre que constituam a instalação.

3.4 - A capacidade diária de operação de uma piscina, é definida como lotação máxima diária ou utência diária, que corresponde ao número máximo de banhistas que poderão frequentar a instalação ao longo de cada dia de funcionamento, e que não deverá ser superior a 4 vezes a lotação máxima instantânea.

3.5 - A lotação de serviço ou utência de serviço, define-se para cada piscina, como o número médio de banhistas admissível por hora na instalação que, multiplicado pelo número de horas de funcionamento diário, não será superior ao valor definido para a lotação máxima diária..CNQ 23/93-7

3.6 - Os valores das utências definidos anteriormente, tal como a capacidade máxima de espectadores ou de visitantes não-banhistas deverão ser estabelecidos e aprovados ao nível dos programas e projectos de licenciamento das instalações, e serão afixados em local visível, à entrada das instalações.
Capítulo 4

SERVIÇOS ANEXOS

4.1 - Os serviços anexos -- vestiários, balneários e sanitários -- destinados aos banhistas, devem ser distintos por sexos e divididos em dois sectores separados e proporcionados, considerando uma igual presença de homens e mulheres, e sem barreiras arquitectónicas que impeçam a sua utilização por deficientes, crianças ou idosos. Estes locais devem ser para utilização exclusiva pelos utentes da piscina, mesmo quando estas se integrem em complexos com outras instalações desportivas e recreativas .

4.2 - Os locais dos serviços anexos devem ser concebidos e realizados de forma a que respeitem os mais elementares requisitos de segurança e qualidade sanitária, de

facilidade de utilização e conservação, nomeadamente no que respeita à idoneidade dos materiais, organização dos espaços e dos elementos, e à qualidade da construção. Em particular, deverão ser respeitados os seguintes requisitos:

a) É formalmente interdita a instalação de elementos e apetrechos com saliências ou arestas vivas, e a utilização de materiais porosos ou susceptíveis de se constituírem como substracto para o desenvolvimento de microrganismos patogénicos, tais como: estrados de madeira, tapetes ou alcatifas.

b) Os pavimentos devem ser realizados com materiais impermeáveis, anti-derrapantes, resistentes ao desgaste e às acções dos desinfectantes comuns, e de fácil limpeza. Devem além disso, dispor de sistemas de drenagem que evitem encharcamentos e facilitem a evacuação das águas de lavagens.

c) As paredes dos vestiários, balneários e instalações sanitárias, devem desenvolver-se evitando arestas côncavas, e ser revestidas até uma altura de pelo menos 2 metros, com materiais impermeáveis, resistentes aos desinfectantes e fáceis de limpar.

d) Devem adoptar-se disposições especiais na escolha, localização e protecção de aparelhos e acessórios, tais como, tomadas e cabos eléctricos, torneiras, tubagens de águas quentes e aparelhos de aquecimento, de modo que não se constituam como fontes de risco para a segurança dos utentes e do pessoal encarregado da manutenção.

4.3 - Os vestiários dos banhistas devem, do ponto de vista estrutural e funcional, constituir-se como locais secos e elementos de separação entre os circuitos dos utentes vestidos e com calçado de rua, e os circuitos dos utentes em pés descalços e traje de banho. Estes circuitos devem estabelecer-se de um e outro lado de cada local destinado a vestiário e em comunicação directa com os respectivos espaços para pé calçado e para pé descalço. CNQ 23/93-8

NOAH

NORMATIVA 23/93 CNQ

4.4 - Os vestiários dos banhistas, podem organizar-se em espaços colectivos para o serviço de grupos ou equipas, ou com cabinas de uso individual e rotativo.
Em piscinas com tanques desportivos, tanques de aprendizagem ou tanques polivalentes, vocacionadas sobretudo para a utilização por grupos organizados, os vestiários serão organizados preferencialmente em espaços colectivos, complementados com pelo menos duas cabinas de uso individual, integradas nos respectivos blocos de vestiários para cada sexo.

4.5 - A área total dos locais de vestiários, será de 0.3 m2 por cada m2 de plano de água, com o mínimo de 2 espaços de 15 m2 cada um. Se os vestiários forem organizados exclusivamente com cabinas rotativas individuais, o numero destas será estabelecido na proporção de 1 cabina por cada 10 m2 de plano de água, igualmente distribuídas para os dois sexos, e com o mínimo de 1 m2 de superfície por cada unidade. Em cada bloco, uma destas cabinas será dimensionada e apetrechada para o uso por deficientes motores e famílias.

4.6 - Os vestiários colectivos, serão equipados com cabides fixos e disporão de assentos dimensionados na relação de 0.40 metros lineares de banco por cada utente, considerando a afluência total igual à lotação máxima instantânea.

4.7 - Os vestiários devem dispor de um serviço de depósito de roupas, que poderá ser organizado com sistemas individuais ou colectivos. Estes serviços, quando colectivos -- guarda-roupa central --, deverão localizar-se de forma a salvaguardar a separação dos circuitos de pé calçado e de pé descalço exigida na utilização dos blocos de serviços. No sistema individual, as roupas são colocadas em armários cacifos com fechadura, distribuídos pelos locais de serviços acessíveis aos utentes em pés descalços.

4.8 - Em comunicação directa com os vestiários colectivos, ou na imediata vizinhança dos circuitos de pés descalços, serão previstos blocos de balneários e sanitários

igualmente distribuídos e separados por sexos, constituídos por zonas de duches, lavatórios e instalações sanitárias, dimensionados para as seguintes proporções:

a) Chuveiros: - 1 por cada 30 m2 de plano de água, com o mínimo de 4 para cada sexo, dos quais 1/4 instalados em cabinas de uso individual. Nas piscinas com tanques ao ar livre e superfícies de plano de água superiores a 1000 m2, poderão contabilizar-se os chuveiros instalados nos lava-pés exteriores, até ¼ do total.

b) Lavatórios: - 1 por cada 50 m2 de plano de água, com o mínimo de 2 lavatórios por cada bloco de balneário;

c) Instalações sanitárias: - 1 cabina com sanita por cada 50 m2 de plano de água, com o mínimo de 2 unidades por cada bloco de serviços;

d) Urinóis: - nos locais de serviços reservados para homens, e quando o numero de sanitários for superior a 2 unidades, 1/2 destas poderão ser substituídas por urinóis, na proporção de 2 urinóis por cada sanita suprimida.

4.9 - Cada duche deve dispor de um espaço de banho com o mínimo de 0.80 x 0.80m, acrescido de uma área de passagem e secagem contígua, num total de 1.5M2 por cada posto de duche.
Deverão instalar-se distribuidores automáticos de sabão na zona dos duches.

4.10 - Nas piscinas cobertas, deve ser prevista a instalação de secadores de cabelo em numero igual ao de chuveiros.

4.11 - No dimensionamento dos serviços anexos das piscinas para uso exclusivo dos hóspedes, em hotéis e similares, parques de campismo, aldeamentos turísticos e condomínios, poderão considerar-se apenas 1/4 das necessidades calculadas de acordo com os critérios precedentes, mas prevendo como mínimo, um bloco de serviços para cada sexo, com a seguinte constituição:

- 1 Local de vestiário com 6m2 ou 2 cabinas individuais;
- 2 Chuveiros colectivos ou 2 cabinas de duche;
- 2 Instalações sanitárias com lavatórios;

4.12 - Nas piscinas com mais de 100 m2 de plano de água, e integrados na zona de serviços anexos, serão previstos locais para uso exclusivo dos monitores e vigilantes, localizados na proximidade imediata das zonas de cais e, preferencialmente com possibilidade de controlo visual destas zonas. Estes locais deverão dispor de um gabinete de trabalho e de um bloco de serviços compreendendo pelo menos uma cabina de vestiário e duche, e uma instalação sanitária com lavatório, por cada 300m2 de plano de água.

4.13 - Nas piscinas com mais de 100m2 de plano de água, devem prever-se locais para prestação de primeiros socorros, localizados de forma a permitir fácil comunicação com as zonas de cais, e com o exterior, para o transporte de acidentados para zona acessível a ambulâncias. Este gabinete será preferencialmente integrado ou adjacente aos gabinetes destinados aos vigilantes e monitores, e disporá de uma área igual a 0.04 m2 por cada m2 de plano de água, com o mínimo de 10 m2. Este local será dotado com o seguinte apetrechamento mínimo:
- 1 Marquesa de 2,0 x 0.80m
- 1 Maca e 2 cobertores de lã
- 1 Mesa de apoio
- 1 Armário com produtos médico - farmacêuticos de primeiros socorros
- 1 Conjunto de material de reanimação de modelo aprovado
- 1 Lavatório e 1 pia sanitária

A largura das portas de acesso e dos corredores de comunicação com esta zona, terão 1,20m, no mínimo.

4.14 - Nas piscinas que disponham de tanques para competições desportivas com mais de 500m2 de plano de água, deverá prever-se um local para serviços de controlo médico e análises anti-dopagem, eventualmente integrado com o espaço de primeiros socorros, e constituído por sala de espera, gabinete de observações, sala

de recolha de análises e instalação sanitária. Estes locais serão dimensionados e equipados de acordo com o nível e importância das instalações, nos moldes definidos pelas autoridades da tutela do desporto.

4.15 - Nas piscinas em que se admitam visitantes-espectadores, estes disporão de instalações sanitárias próprias, dimensionadas na base de 1 instalação sanitária e 1 lavatório, para cada sexo, por cada 100 lugares de público ou fracção.
Estas instalações poderão eventualmente ser comuns às destinadas aos funcionários encarregados da administração e manutenção do estabelecimento.

4.16 - Nas piscinas com mais de 100 m2 de plano de água, serão previstos locais de vestiário, balneários e instalações sanitárias para serviço de pessoal encarregado da limpeza, manutenção e condução das instalações técnicas, em proporção adequada ao número de funcionários previstos.

Capitulo 5

DISPOSIÇÕES DE SEGURANÇA NOS TANQUES

5.1 - Não serão admissíveis, no interior dos tanques, degraus, desníveis, mudanças bruscas da inclinação do fundo ou quaisquer obstáculos submersos, que não sejam os elementos de desenvolvimento das escadas e rampas de acesso nas condições definidas pela presente directiva.
As paredes de contorno dos tanques deverão apresentar paramentos interiores verticais, sem relevos, reentrâncias ou obstáculos submersos de qualquer tipo, para além dos elementos de descanso e apoio dos pés colocados à profundidade de 1,20m e com o máximo de 0,15m de largura, nos moldes aprovados para a homologação dos tanques desportivos.

5.2 - As pendentes das soleiras de fundo dos tanques, serão de 1% no mínimo, para garantirem o escoamento das águas de limpeza e esvaziamento, não devendo no

NOAH

NORMATIVA 23/93 CNQ

entanto, ultrapassar os seguintes valores:
- 4% nos tanques infantis ou chapinheiros;
- 7% Nos tanques e zonas com profundidades iguais ou inferiores a 1,60 m, em geral;
- 30° Nos tanques ou zonas com profundidades superiores a 1,60m;

5.3 - Os paramentos - paredes e fundos - e todos os elementos integrados na construção dos tanques, devem desenvolver-se sem saliências, arestas vivas, concavidades ou diedros formando ângulos inferiores a 90°, devendo ser constituídos por materiais de estrutura e de revestimento que reúnam as seguintes propriedades:
- Estabilidade estrutural e durabilidade;
- Permeabilidade das superfícies inferior a 3%;
- Resistência aos esforços e acções mecânicas;
- Resistência às acções dos agentes atmosféricos e aos fungos;
- Resistência às acções dos produtos desinfectantes comuns;
- Superfícies lisas, não abrasivas e anti-derrapantes até 1,60m de profundidade;
- Superfícies de cores claras - branco ou tons azulados claros - que sublinhem as qualidades e a transparência da água, com excepção dos traçados previstos pelos regulamentos desportivos, e das inscrições de segurança;

5.4 - Na vertical das paredes de delimitação dos tanques, a altura do bordo do cais, em relação ao nível do plano de água, não deverá ser superior a 0.35m, excepto nas "piscinas de ondas", durante os períodos de produção das ondas.

5.5 - Só poderão instalar-se blocos de partida nos topos de tanques desportivos e tanques polivalentes em cuja vertical a profundidade seja superior a 1,40m.
Os blocos de partida serão desmontáveis quando esta profundidade seja inferior a 1,80m.

5.6 - As piscinas de ondas e os tanques equipados com dispositivos de agitação submersos, deverão ser concebidos para resistirem às vibrações.

As paredes ou soleiras por onde se faça a insuflação e agitação da água, deverão ser obturadas com grelhas solidamente fixadas e com perfurações que impeçam a passagem de uma esfera com o diâmetro máximo de 12mm.
As piscinas de ondas deverão prever "corrimãos" de apoio para os banhistas, constituídos por guias de corda com 15 a 30mm de calibre, dispostas em suspensão entre apoios fixos nas paredes à distância máxima de 3 metros.

5.7 - As caixas de evacuação das águas de despejo dos tanques, serão colocadas nas zonas mais profundas da soleira, e devem ser obturadas por meio de grelhas de material inoxidável e solidamente fixadas para impedir a sua abertura pelos banhistas.
Quando estas caixas funcionem como órgãos de aspiração - nos sistemas de recirculação em "hidraulicidade mista" -, as grelhas respectivas terão uma secção total de passagem de água que limite as velocidades de aspiração a 0,30 m/s, no máximo. Independentemente dos resultados de cálculo, as grelhas terão 0,50m de dimensões mínimas, quando seja prevista uma só grelha, e 0,40m quando sejam em numero superior.
As dimensões máximas das secções de passagem das grelhas serão tais que impeçam a passagem de uma esfera com 8 mm de diâmetro. Em alternativa, as grelhas poderão ser de tipo anti-vórtice, com aspiração tangencial.
5.8 - Nas transições para as zonas de profundidades superiores a 1,30m, dos tanques de recreio e diversão, dos tanques polifuncionais, e dos tanques desportivos quando funcionem fora dos períodos de treino acompanhado ou de competição, deverá instalar-se um cabo suportando bandeirolas de cor vermelha e um painel central com as seguintes inscrições bem visíveis:

LIMITE DE ZONA "COM PÉ"

PROFUNDIDADE : 1,30M

Este cabo deverá ser suspenso a cerca de 2 metros de altura acima do nível da água

e na vertical da linha de fundo correspondente a 1,30m. Estas profundidades serão igualmente inscritas nas bordaduras dos tanques, assim como as inscrições relativas às profundidades mínima e máxima.

5.9 - As mangas e os dispositivos de ancoragem para fixação do material móvel (separadores, flutuadores, balizas de polo, escadas...) às paredes e bordaduras. Dos tanques, disporão de tampas de obturação não salientes e solidarizadas por meio de fixação adequado.

Capitulo 6

ESCADAS E ACESSOS AOS TANQUES

6.1 - Para o acesso aos tanques com profundidades superiores a 0,50m, serão previstas escadas em número igual ao quociente entre a superfície de plano de água (m2) e o perímetro (m) do tanque, arredondado para as unidades mais próximas, com o mínimo de uma escada por cada tanque.

6.2 - As escadas de acesso definidas no número anterior, podem ser realizadas como escadas verticais - de prumo ou de marinheiro -, escadarias ou escadas inclinadas com degraus de espelho, ou em rampas.

6.3 - As escadas verticais devem desenvolver-se até 1,20m de profundidade, e ser constituídas por materiais inoxidáveis, degraus com superfície anti-derrapante e montantes encastrados em mangas situadas no pavimento da bordadura dos tanques:

a) Degraus: - altura máxima entre degraus: 0,30m;
- Largura mínima: 0,08m;
- Cota do degrau superior: de nível com a bordadura de cais

b) Montantes: - largura mínima entre montantes: 0,50m;
- Distancia mínima à parede: 0,10m;
Os montantes devem prolongar-se sobre o pavimento do cais, e terão alturas diferentes de 0,70m e 1,0m, respectivamente.
6.4 - Quando as escadas verticais não sejam constituídas por degraus encastrados em nichos nas próprias paredes, o espaço livre entre os degraus e a parede será, no mínimo, de 0,02m, e de 0,08m no máximo. O degrau superior estará afastado da parede de 0,02m, no máximo.

6.5 - Os acessos em escadaria ou em rampa, terão uma largura mínima de 0,90m e, disporão de guarda-corpos laterais com 0,75 a 0,90m de altura, rigidamente fixados nos pavimentos e construídos em material inoxidável.

Nas escadarias, os degraus terão uma relação altura/cobertor próxima de 16:30, com 0,24m de cobertor mínimo. As rampas serão constituídas por superfícies anti-derrapantes, com o declive máximo de 10%.

6.6 - As escadas devem ser distribuídas pelo bordo perimetral dos tanques a distancias não superiores a 24 metros, localizando-se, preferencialmente nas verticais das zonas de maiores profundidades e dos pontos de mudança de inclinação do fundo.

Nos tanques desportivos, e nos tanques rectangulares em geral, deve adoptar-se um número par de escadas com distribuição simétrica e, pelo menos, junto aos cantos.

Nos tanques de aprendizagem e recreio, nos tanques polivalentes e nos tanques de recreio e diversão, será preferível que, pelo menos um acesso, seja em escadaria ou em rampa, localizado na zona menos profunda e desenvolvendo-se exteriormente às dimensões úteis dos tanques.

6.7 - O acesso aos tanques infantis ou chapinheiros, deverá ser realizado com

rampas de 4% de declive máximo, ou por escadaria com degraus de 0,08 m de altura máxima.

Capitulo 7

TORRES DE SALTOS E TRAMPOLINS

7.1 - As torres de saltos e outras estruturas equipadas com plataformas rígidas e trampolins elásticos de saltos para a água, deverão instalar-se em tanques desportivos que satisfaçam os requisitos dimensionais definidos no apêndice A, da presente directiva.

7.2 - Quando a plataforma mais alta de uma torre de saltos se situar a altura superior a 5 metros, esta estrutura será obrigatoriamente instalada em tanques desportivos para saltos, independentes e exclusivos para estes usos.

7.3 - Só serão admissíveis trampolins e plataformas nas piscinas polivalentes para usos recreativos, se os tanques satisfizerem os requisitos dimensionais definidos no apêndice B desta directiva e se situem á altura máxima sobre o plano de água de:
- 0,50m, para os trampolins elásticos
- 1,00m para as plataformas rígidas

7.4 - As plataformas rígidas de altura igual ou superior a 5 metros, e as plataformas de apoio das pranchas dos trampolins de 3m de altura, deverão ser protegidas lateralmente e atrás, com guarda-corpos de 1,20m de altura que se prolongarão por 0,50m, pelo menos, sobre a parede anterior do tanque.
As escadas de acesso às plataformas devem formar um ângulo máximo de 75° com a horizontal, e devem dispor de degraus anti-derrapantes e corrimãos ligados aos guarda-corpos das plataformas.
Os acessos às plataformas de saltos, devem possuir porta ou cancela com sistema de fecho que impeça a utilização fora dos períodos autorizados.

7.5 - As torres de saltos e as suas estruturas de suporte das plataformas e dos trampolins, serão dimensionadas e construídas para resistirem aos esforços mecânicos decorrentes da sua utilização, constituídos por materiais não oxidáveis, e com superfícies de utilização anti-derrapantes e resistentes à acção dos produtos desinfectantes.

7.6 - Não é permitida a instalação de plataformas ou trampolins em quaisquer piscinas ou tanques que não satisfaçam os requisitos definidos nesta directiva.

Capitulo 8

ESCORREGAS AQUÁTICOS

8.1 - Os escorregas aquáticos (tobogãs), serão constituídos por pistas de deslizamento "lubrificadas" com água e só poderão instalar-se em piscinas ou tanques com vocação recreativa que satisfaçam as dimensões de segurança definidas nos apêndices C-I e C-II deste anexo, para os correspondentes tipos de pistas ali considerados.
Quaisquer outros modelos ou tipos que não se enquadrem nas características e disposições desta directiva terão que ser previamente aprovados pelo organismo da tutela do desporto.

8.2 - Em estabelecimentos recreativos aquáticos - parques aquáticos - e nas piscinas de preponderante actividade recreativa, os escorregas deverão instalar-se preferencialmente em tanques independentes - tanques de recepção - especialmente destinados para estes usos. Doutro modo, as áreas de recepção integradas em tanques para outras actividades serão delimitadas por meio de linhas de flutuadores ancoradas nas paredes do tanque.

8.3 - As pistas de deslizamento dos escorregas, serão construídas com materiais inoxidáveis, dotadas de superfícies lisas e não abrasivas, sem saliências ou

obstruções de qualquer tipo na cércea de utilização - zona livre de obstáculos -, definida no apêndice C-II deste anexo.
Junto de cada pista de escorregas, deverão colocar-se painéis informativos contendo instruções de utilização, complementadas com sinalética adequada e enfatizando aspectos relativos a eventuais interdições nos modos de utilização.

8.4 - As plataformas de partida dos escorregas, devem ser protegidas lateralmente e atrás, com guarda-corpos de 0,90 m de altura mínima.
As escadas de acesso às plataformas de partida, devem formar um ângulo máximo de 75° com a horizontal e dispor de corrimãos laterais prolongados até aos guarda-corpos das plataformas.
Os degraus serão realizados sem arestas vivas e com superfícies anti-derrapantes.

8.5 - Nos escorregas modelados sobre o terreno natural, e naqueles cujos percursos de saída ou de acesso impliquem a passagem dos banhistas por zonas de pavimentos que não satisfaçam as condições sanitárias exigidas para os cais das piscinas, nos termos da presente directiva, serão obrigatoriamente instalados lava-pés localizados no patamar de acesso ás escadas dos escorregas.
Este lava-pés terá 0,10 a 0,20m de profundidade, e serão alimentados com água corrente e desinfectada, e esvaziados pelo menos diariamente.

Capitulo 9

REQUISITOS DE QUALIDADE E TRATAMENTO DA ÁGUA

9.1 - A água nos tanques das piscinas deve ser filtrada, desinfectada e possuir poder desinfectante residual, de modo que as suas características físico-químicas e bacteriológicas respondam às normas seguintes:
- A sua transparência deverá ser inferior a 1 UTF (unidades turbidimétricas de formazina), ou a 3 mg/l SiO_2 (graus sílica de turvação); ademais, a transparência deve ser visualmente controlada em contínuo e de modo que, a partir de qualquer

ponto do cais e a uma distancia na horizontal mínima de 10
Metros, seja perfeitamente visível uma marca ou disco de cor negra (disco de Secchi) com 5cm de diâmetro colocado na zona mais profunda de cada tanque.
- A água não deve ser irritante para os olhos, para a pele ou para as mucosas, nem conter substâncias em quantidades susceptíveis de constituir dano para a saúde dos utentes.
- O teor em substâncias oxidáveis pelo permanganato de potássio em meio alcalino, expresso em oxigénio, não deverá ultrapassar em 4 mg/l o teor da água de alimentação proveniente da rede pública de abastecimento. O potencial redox (rH), medido com eléctrodos de calomelano (resistividade de 10,13 a 10,14 ohm), deve ser superior a 690 mV, com o máximo de 780 mV.
- O pH deve estar comprendido entre 6,9 e 8,0.
- O numero de coliformes totais deve ser inferior a 10 por cada 100 ml, com ausência total de coliformes fecais em 100 ml.
- A água não deve conter vestígios de germes patogénicos, nomeadamente de pseudomonas (p. aeruginosa) e estafilococos patogénicos, em 100 ml e em 90% das amostras.
- A carga micróbica total expressa no numero de bactérias aeróbias revivificáveis (ágar a 37° C), deve ser inferior a 100 por mililitro.
9.2 - A água de alimentação dos tanques, deve ser proveniente de uma rede pública de abastecimento de água potável. Para a utilização de águas de outras origens, será necessário obter a concordância e a correspondente autorização emitida pelos organismos da tutela da saúde pública e da gestão dos recursos hídricos nacionais.
Os ramais de alimentação de água e os ramais de ligação de esgotos destinados ao enchimento e esvaziamento dos tanques, respectivamente, serão dimensionados para minorar os efeitos de elevados caudais de ponta instantâneos sobre as redes públicas, tomando-se como referência os seguintes períodos, quer para abastecimentos, quer para esvaziamentos totais:
- 36 Horas, para tanques até 500 m3 de volume
- 60 Horas, para tanques de 500 a 1000 m3
- 84 Horas, para tanques com volume superior a 1000 m3

NOAH

NORMATIVA 23/93 CNQ

9.3 - Salvo para os chapinheiros e as piscinas de ondas durante os períodos de produção das ondas, a camada superficial da água dos tanques deve ser transbordada e recolhida continuamente através de caleiras especialmente concebidas para o efeito, e em, pelo menos, 50% dos caudais correspondentes e calculados nos termos definidos nesta directiva. Estas caleiras deverão desenvolver-se em pelo menos 2/3 do perímetro dos tanques.
Não será admissível a instalação de escumadores de superfície - skimmers – em piscinas com superfícies de plano de água superiores a 120 m2. Noutros casos, quando previstos, serão instalados na proporção mínima de um escumador de superfície por cada 25 m2 de plano de água, no mínimo.

9.4 - As instalações de recirculação e tratamento de água devem ser dimensionadas para fornecer, a todo o momento e a cada tanque que alimentem, um caudal de água filtrada e desinfectada de qualidade conforme aos requisitos definidos nesta directiva.
O caudal de recirculação mínimo a assegurar pela instalação de tratamento de água será dado pela seguinte expressão:
Q = V
RH (m3/ hora) em que:
V = capacidade do tanque (m3)
H = profundidade média do tanque (m) = volume/superfície
R = factor de recirculação (horas/metro de profundidade)
O factor de recirculação R, depende das condições de ocupação e de exposição dos tanques, e da eficácia do sistema de tratamento adoptado, sendo igual a:
R = k.f, em que k (factor de rendimento do sistema de tratamento) e f (factor de ocupação específica), podem tomar os seguintes valores:
k= 0,5 banhistas/m3, no sistema de tratamento tipo I: floculação + filtração + desinfecção (cloro)
k= 0,6 banhistas/m3, no sistema de tratamento tipo II: floculação + filtração + ozonização + filtração em carvão activado + desinfectante (cloro)

F = 3 m2.hora/banhista, em piscinas ao ar livre ou convertíveis

F = 4 m2.hora/banhista, em piscinas cobertas

Decorrendo das expressões anteriores, o período de recirculação será dado por: T = R.H (horas), com o máximo de 8 horas.

Serão instalados caudalímetros ou medidores instantâneos de caudal que permitam assegurar o controlo dos caudais de recirculação em cada tanque, nos termos definidos pela presente directiva.

9.5 - Como meio de regeneração complementar da água das piscinas, deverá ser assegurada uma reposição diária de água nova (potável), na proporção mínima de 30 litros por dia e por cada banhista que tenha frequentado a instalação, com o mínimo absoluto de 2% do volume do tanque. Este valor poderá ser aumentado por determinação das autoridades sanitárias, sempre que os resultados de análise revelem uma água com qualidade insuficiente.

Do mesmo modo, quando não se considerem satisfatórios os meios disponíveis para as operações de aspiração e limpeza diária dos tanques, ou se verifiquem insuficiências nos registos relativos às frequências diárias, as autoridades sanitárias poderão impor um volume mínimo de reposição diária de água nova equivalente a 5% do volume da piscina..CNQ 23/93-17

Para o controlo dos volumes de reposição diários, serão instalados contadores-totalizadores, nos circuitos privativos de alimentação de cada tanque.

Os tanques serão completamente esvaziados para limpezas de fundo, pelo menos, duas vezes em cada ano, com o intervalo máximo de 6 meses nas piscinas ao ar livre.

Para as operações de aspiração e limpeza das paredes e fundos dos tanques, serão previstas tomadas de aspiração conectadas com os circuitos de aspiração das bombas, em numero mínimo de 1 tomada por cada 80m2 de plano de água, e distribuídas pelas paredes de modo que o respectivo raio de acção seja inferior ou igual a 15 metros. Estas tomadas disporão de tampas de obturação e de válvulas de manobra nos respectivos circuitos individuais.

9.6 - Poderá realizar-se uma só instalação de tratamento de água para vários tanques, na condição de que cada tanque disponha dos seus próprios circuitos e

dispositivos de alimentação e evacuação, e ainda de sistemas de desinfecção e regulação de pH privativos e independentes.
As piscinas infantis ou chapinheiros, deverão dispor de instalações de tratamento integralmente independentes e de serviço exclusivo.
Para o retorno da água tratada, os tanques serão equipados com circuitos de distribuição privativos, munidos de bicos de impulsão localizados nas soleiras ou nas paredes a cerca de 0.30m do fundo, excepto nos tanques de saltos ou com profundidades superiores a 3 metros, em que se deverão prever bicos pelo menos a metade da profundidade, para além dos bicos no fundo.
Os bicos injectores serão localizadas e dimensionadas para permitir uma distribuição homogénea do caudal de água tratada, na proporção de 1 entrada por cada 30m2 ao menos, e velocidades de impulsão mínimas de 0.50 m/s.

9.7 - A reposição de água nas piscinas, deverá fazer-se por meio de sistemas automáticos, com válvulas de abertura controlada por sondas de nível, e sempre com passagem prévia da água através de um tanque de desconexão que funcionará igualmente como tanque de compensação.
O dimensionamento dos tanques de compensação será justificado com base nos volumes deslocados pelos banhistas, nos caudais em recirculação, e nos volumes de água de reserva para lavagem de filtros, mas com um mínimo de capacidade útil não inferior a 0,08 m3 por cada m2 de plano de água.

9.8 - Para a filtração da água, deverão utilizar-se filtros fechados, de funcionamento em pressão, e com leito filtrante único em areia ou leito misto de areia e antracite (hidroantracite), com as seguintes características:
a) Filtros de areia altura do leito filtrante :
> 0.80m, para velocidades inferiores a 20 m3/m2.hora
> 1.20m, para velocidades de 20 a 30 m3/m2.hora, .no máximo.CNQ 23/93-18
b) Filtros mistos de areia e antracite (hidroantracite) altura do leito filtrante:
> 0.80 m para velocidades < 40 m3/m2.hora
A granulometria dos materiais de filtração deverá ser ajustada às velocidades de

filtração admitidas e às alturas das respectivas camadas filtrantes, com coeficientes de uniformidade inferior a 1,5.
O teor de sílica (SiO2), na areia utilizada, deverá ser superior a 98%. O máximo teor de cinzas na antracite, será de 10%.

9.9 - Nas piscinas onde esteja autorizada a utilização de água do mar ou de outras proveniências, com elevados teores de sais dissolvidos, as velocidades de filtração atrás referidas, serão reduzidas em 30%, ao menos.

9.10 - Só se deverão utilizar filtros de areia abertos, ou filtros de diatomites, em situações devidamente justificadas.
Os filtros de carvão activo só se poderão instalar como órgãos do segundo estágio de filtração previsto nos sistemas de tratamento com utilização do ozono como bactericida - sistemas do tipo II.

9.11 - O número de unidades filtrantes em serviço, será determinado em função dos caudais de serviço, mas nunca inferior a 2 unidades com características idênticas e montadas em paralelo.
As respectivas tubagens e válvulas de manobra e de seccionamento serão estabelecidas para permitir operações de lavagem ou de reparação individuais, sem necessidade de paragem no funcionamento de toda a instalação.
Os invólucros dos filtros fechados, devem ser dimensionados para resistirem a pressões de ensaio iguais a: 0,4 MPa ou 2 vezes a pressão de bombagem em vazio.
Cada filtro será munido de um dispositivo de controlo de colmatagem; no caso da descolmatagem não automática, deverá prever-se um sistema de alarme – aviso sonoro ou luminoso - que assinale os momentos em que se atinja a perda de carga limite.
Os filtros deverão ser lavados quando a perda de carga na colmatagem exceda em 50 kPa, o valor da perda de carga estabelecida com o filtro lavado.
Os caudais dos filtros colmatados, deverão ser, no mínimo, de 70% dos caudais de serviço com os filtros lavados.

Após cada lavagem ou descolmatagem de um filtro, a água filtrada deverá ser reciclada directamente no filtro ou eliminada para o esgoto, durante 4 minutos no mínimo.
Os filtros serão munidos de dispositivos que permitam o seu esvaziamento completo, e comportar ao menos uma abertura de dimensão suficiente e de manobra fácil para permitir a inspecção interior e a substituição ou recarga dos materiais filtrantes.

9.12 - As bombas de recirculação, serão dimensionadas para as condições de serviço da instalação de tratamento de água, e em número igual ao número de filtros instalados.
Deverá prever-se um número suplementar de bombas, constituindo reservas montadas e prontas para entrada em serviço, com capacidade para garantirem um suprimento mínimo de 30% dos caudais de serviço. A montante das bombas, deverão ser instalados pré-filtros ou filtros de partículas grossas, munidos de cestos retentores removíveis e providos de aberturas para passagem de água com dimensões de 5 a 8 mm.

9.13 - A injecção de produto químicos não se poderá fazer directamente nos tanques das piscinas. Para o efeito, as instalações de tratamento deverão incluir sistemas para o doseamento e injecção das soluções nos circuitos das tubagens de recirculação.
Os sistemas de doseamento de reagentes, serão constituídos por tanques para preparação das soluções e por bombas doseadoras reguláveis e de funcionamento automático, em numero correspondente aos diferentes produtos utilizados, e com capacidades adequadas às necessidades da instalação.

9.14 - Os parâmetros de aplicação e os produtos químicos que poderão ser utilizados na desinfecção da água das piscinas são os seguintes:

9.14.1 - Sistemas de desinfecção com cloro (sistemas de tratamento tipo I)
a) Produtos de cloro e derivados

- Hipoclorito de sódio - NaOCl (água de Javel ou lexívia);
- Hipoclorito de cálcio - Ca(ClO)2 ;
- Cloro liquido - Cl2 - (cloro-gás);
- Produtos que contenham ácido tricloroisocianúrico ou dicloroisocianu-rato de sódio ou de potássio, ou outros derivados do ácido isocianúrico e cuja utilização esteja homologada pelas autoridades sanitárias.

b) Parâmetro a observar na água dos tanques:

- Teor de cloro livre activo (Cl2) mínimo de 0,5 e máximo de 1,2 mg/l, para o pH entre 6,9 e 7,4; mínimo de 1,0 e máximo de 2,0 mg/l, para o pH entre 7,5 e 8,0;
- Teor de cloro total igual no máximo ao teor de cloro livre + 0,5 miligramas por litro;
- Teor de ácido isocianúrico: inferior ou igual a 75 miligramas por litro;

9.14.2 - Sistemas de desinfecção com bromo (sistemas de tratamento tipo I)

- Teor de bromo (Br2) mínimo de 1 mg/l e máximo de 2 mg/l;
- PH controlado entre 7,5 e 8,0;

9.14.3 - Sistemas de desinfecção com ozono (sistemas de tratamento tipo II)

A ozonização da água deve ser efectuada fora das piscinas, e de modo que nos circuitos de retorno e à entrada dos tanques o residual de ozono (O3) seja inferior a 0.01 mg/l.

Entre o ponto de injecção do ozono e o dispositivo de desozonizaçãp, deverá dispor-se de um depósito de mistura e contacto que permita manter uma taxa residual mínima de 0,4 mg/l de ozono durante 4 minutos.

Para assegurar a capacidade desinfectante residual da água nos tanques, e após a desozonização, deverá ser injectado um desinfectante complementar à base de cloro, de modo a manter um teor de cloro residual (cloro livre activo) mínimo de 0,01 e máximo de 0,03 mg/l, com o teor de cloro total máximo de 0,5 mg/l, para valores de pH compreendidos entre 7,2 e 7,8.

9.15 - As instalações de tratamento de água deverão situar-se em espaço próprio

- Central de tratamento de água -, fora dos circuitos acessíveis aos banhistas e ao público.

A central de tratamento de água, que pode eventualmente ser adjacente às centrais de climatização e de aquecimento, deve possuir boas condições de ventilação, e ser dimensionado para permitir a distribuição racional dos equipamentos, com circulações simples e possibilidades de fácil acesso a todos os órgãos da instalação. Como referência, para o dimensionamento deste espaço, deve ser prevista uma área mínima correspondente a 25% da área de plano de água, com um pé-direito não inferior a 3 metros.

A central de tratamento de água, deverá incluir área para pequenas reparações, uma zona separada protegida contra a humidade e o calor para armazenamento de produtos químicos e, eventualmente, gabinete de trabalho com instalações sanitárias para os operadores, nas instalações de grande dimensão. Um dos acessos a este local, deverá comunicar directamente com o exterior para uma via com acesso a veículos pesados, e com portas de dimensões adequadas para a passagem dos equipamentos previstos, com o mínimo de 2,40m x 2,40 m.

9.16 - Nas instalações que prevejam a utilização do cloro-gás como produto desinfectante, as botijas de cloro serão instaladas em compartimentos próprios dispondo de portas metálicas com aberturas de ventilação superior e inferior, e abrindo para o exterior, para local não acessível ao público.

A dimensão destes compartimentos será a suficiente para albergar as botijas em serviço e as botijas de reserva imediatas, e de modo que o espaço consignado não permita o encerramento completo de um homem no seu interior. Estas instalações, deverão ser dotadas de todos os dispositivos de regulação e controlo dos doseamentos em condições de perfeita segurança, para além dos dispositivos de detecção e aviso de fugas de gás e do respectivos equipamentos de emergência e socorro, de acordo com todas as normas e disposições respeitantes à manipulação de produtos tóxicos.

Capitulo 10

NOAH

NORMATIVA 23/93 CNQ

REQUISITOS TÉRMICOS E DE VENTILAÇÃO

10.1 - Nas piscinas cobertas e nas piscinas convertíveis, deverão ser previstas instalações e equipamentos destinados ao aquecimento de água dos tanques de natação, dimensionados para acorrer às necessidades e às características de utilização dos tanques que as constituem.
As temperaturas da água dos tanques, de acordo com as sua tipologias, serão as seguintes:
- Tanques desportivos, em geral: 24° a 26° C
- Tanques desportivos para saltos: 26° a 28° C
- Tanques de aprendizagem e recreio: 26° a 28° C
- Tanques infantis ou chapinheiros: 28° a 30° C
- Tanques de recreio e diversão: 26° a 28°C
- Tanques polifuncionais: 26° a 28°C

Nas piscinas ao ar livre que disponham de tanques com água aquecida, adoptar-se-ão as temperaturas referidas, reduzidas de 2°C.

10.2 - Para as águas de utilização sanitária - chuveiros e lavatórios – serão igualmente previstas instalações para produção, armazenamento e distribuição de água quente, dimensionadas para satisfazerem as necessidades de ponta de funcionamento, na base de um consumo mínimo de 40 litros por cada utente e por hora, com água à temperatura de 38° a 40°C nas piscinas cobertas, e de 28° a 32° C nas piscinas ao ar livre e piscinas convertíveis em funcionamento no Verão.

10.3 - As piscinas cobertas e convertíveis, serão dotadas de equipamentos e instalações de climatização - renovação e aquecimento do ar - estabelecidas e dimensionadas com a potência e disposições adequadas para a satisfação dos seguintes requisitos de conforto termo-higrométrico:
a) Ambiente da zona de banho (nave da piscina):
- Humidade relativa de 55 a 75 %

- Temperatura (seca): superior ou igual à da água do tanque com a temperatura mais baixa, com o mínimo de 24°C.
- Temperatura de bolbo húmido mínima de 23°C.
- Caudal de ar renovado por banhista: 6 litros /segundo
- Velocidade do ar insuflado, inferior a 0.2 m/s

b) Ambiente da zona de serviços anexos (vestiários, balneários,...):
- Temperatura (seca): 22 a 24°C
- Renovação do ar: 4 volumes por hora

c) Ambiente nas zonas complementares e zonas técnicas:
- Temperatura (seca): 18°C
- Renovação do ar : 4 volumes por hora (5 em locais de fumadores).

Nas zonas anexas e complementares das piscinas ao ar livre, deverão adoptar-se disposições para assegurar um mínimo de 4 renovações do ar por hora; a temperatura ambiente nos vestiários e nos balneários será de 22°C, e nas restantes zonas será de 18° C.

10.4 - Nas piscinas cobertas e convertíveis, deverão adoptar-se disposições construtivas que permitam assegurar adequadas condições de conforto dos utentes, de protecção e de isolamento térmico da construção, e evitar a ocorrência de condensações sobre os paramentos da envolvente.
Em particular, os materiais e sistemas construtivos a utilizar nos paramentos da envolvente exterior - coberturas, tectos e paredes -, deverão apresentar coeficientes de transmissão térmica (K) inferiores a 1,0 watt/m2.°C, nos elementos opacos, e a 3,0 watt/m2. °C nos elementos envidraçados ou transparentes.
Capitulo 11

REQUISITOS DE ILUMINAÇÃO E ACÚSTICA
11.1 - Nas zonas de actividades ou de banho das piscinas cobertas e convertíveis a instalações de iluminação artificial deverão estabelecer-se de modo a garantirem as melhores condições de visibilidade e a segurança dos utentes.
O nível de iluminação de serviço sobre o cais e as superfícies de plano de água, não

deve ser em nenhum ponto, inferior a 200 lux, em geral, ou a 300 lux nos tanques desportivos. Nas restantes zonas de serviços anexos das piscinas, deverá assegurar-se um nível mínimo de 150 lux de iluminação geral.

11.2 - Nas piscinas ao ar livre com funcionamento nocturno, deverá assegurar-se o nível mínimo de 300 lux sobre as superfícies de plano de água, e de 200 lux sobre o cais.

11.3 - Deverão adoptar-se disposições construtivas que garantam a iluminação natural nas zonas de actividades ou de banho, através dos paramentos exteriores ou dos tectos, com superfícies de passagem de luz dimensionadas na proporção mínima de 50% das áreas de plano de água.
Nos vestiários e balneários, deverá assegurar-se um factor médio de luz diurna de 2%, relativamente às respectivas áreas construídas.

11.4 - Deverão ser previstos e instalados sistemas de iluminação de emergência para funcionamento em caso de cortes de energia no sistema de alimentação principal.

11.5 - As instalações de iluminação subaquática, de iluminação geral, bem como as instalações de utilização de energia eléctrica em geral, deverão ser concebidas e realizadas com a observância da legislação e regulamentação específica em vigor, bem como de todas as disposições normativas que salvaguardem a qualidade e a segurança dos utilizadores e dos operadores das piscinas.
11.6 - Nas zonas de actividades ou de banho das piscinas cobertas ou convertíveis, as disposições construtivas serão de modo a conter os valores dos tempos de reverberação dentro dos seguintes limites, calculados com a nave não ocupada:
- 2,2 Segundos, para as frequências baixas (125 - 300 Hz);
- 1,5 Segundos, para as médias frequências (500 - 1000 Hz);

11.7 - O nível de perturbação acústica nas zonas de banho ou de actividades, resultante do ruído exterior ou gerado pelo funcionamento das instalações

tecnológicas não deverá ultrapassar a intensidade de 40 decibéis.

Capitulo 12

REQUISITOS DE PESSOAL E DE FUNCIONAMENTO

12.1 - Para a condução e o controlo do funcionamento das piscinas e dos estabelecimentos de recreação aquática, os seus proprietários disporão do pessoal necessário e tecnicamente habilitado para o exercício das suas atribuições específicas.
Para a representação dos titulares, haverá um director ou encarregado geral que será o responsável pelo funcionamento integral das instalações e dos serviços, e pelo cumprimento das normas de utilização e de manutenção das condições de qualidade do estabelecimento.
Durante os períodos de funcionamento da piscina, deve ser assegurada a presença permanente do responsável ou seu substituto designado.

12.2 - As piscinas e os estabelecimentos aquáticos deverão dispor de pessoal para as funções específicas de assistência aos banhistas - vigilantes ou monitores
- Credenciados para as operações de salvamento e prestação de primeiros Socorros, em numero adequado à dimensão, natureza e intensidade de utilização de cada estabelecimento, mas com o mínimo de 1 assistente de banho em piscinas até 200m2, e de mais um assistente por cada 500 m2 ou fracção de plano de água suplementar. Nas piscinas e parques recreativos aquáticos equipados com "escorregas aquáticos" de alturas superiores a 3 m, haverá um assistente-vigilante colocado próximo a cada plataforma de partida, ou junto de cada zona de recepção. Nos períodos de utilização das piscinas em sessões de aprendizagem, de treino ou de competição acompanhadas pelos respectivos instrutores ou treinadores, é suficiente a presença daqueles para garantia da segurança dos banhistas, desde que habilitados para operações de salvamento e primeiros socorros.

12.3 - Todas as piscinas e estabelecimentos aquáticos disporão de um regulamento de utilização que contenha normas internas de observância obrigatória pelos utentes. Este regulamento deve estar disponível em vários locais e afixado na entrada do estabelecimento e, entre outras, conterá nomeadamente as seguintes disposições:
- Obrigatoriedade de uso dos lava-pés e dos duches antes da entrada nas zonas de banho e nos tanques - interdição do uso de traje e calçado de rua nas zonas de banho.
- Interdição de acesso de público não banhista às zonas de banho ou outras que não lhes estão reservadas
- Interdição de transporte e consumo de comidas e bebidas nas zonas de banho, assim como de abandono de desperdícios fora dos recipientes para recolha de lixo
- Interdição de fumar nas piscinas cobertas e nos balneários em geral
- Recomendação do uso de gorro de banho, nas piscinas cobertas
- Interdição de entrada de animais nas instalações

12.4 - No átrio de recepção das piscinas e dos estabelecimentos de recreação aquática, deverão estar afixados, de forma bem visível, painéis informativos contendo nomeadamente os seguintes dados:
- Nomes do proprietário e do responsável do estabelecimento
- Características dimensionais dos tanques
- Lotação máxima instantânea, lotação de serviço e lotação diária máxima
- Horário semanal e períodos anuais de abertura
- Tabelas de preços de entradas e serviços complementares
- Regulamento de utilização
- Registos actualizados das condições sanitárias e ambientais

12.5 - As piscinas disporão obrigatoriamente de um telefone para comunicações com o exterior, junto do qual e em local bem visível estará exposto um quadro donde constem os nomes, endereços e telefones dos centros de assistência hospitalar, serviços de ambulâncias, serviços de bombeiros e de piquetes de emergências mais próximos.

NOAH

NORMATIVA 23/93 CNQ

Capítulo 13

REGISTO SANITÁRIO

13.1 - Cada piscina ou estabelecimento de recreação aquática, deverá estar dotada de um livro de registo sanitário, previamente paginado e visado pelas autoridades sanitárias, no qual serão anotados diariamente:
- O numero de banhistas que frequentaram a piscina;
- Os volumes de água de reposição (água fresca) lidos nos contadores-totalizadores de cada tanque;
- Pelo menos duas vezes, e com maior frequência em dias e períodos de Utilização mais intensa, as observações relativas à transparência, ao pH, aos teores de desinfectante e à temperatura da água nos tanques; nas piscinas cobertas, anotar-se-á ainda, a temperatura e a humidade relativa no ar ambiente na zona de actividade ou de banho;.CNQ 23/93-25
- As observações relativas às verificações técnicas, às lavagens de filtros, ao esvaziamento e limpeza de tanques e de filtros, à renovação de reservas de produtos químicos, ao enchimento dos tanques de preparação de reagentes, às anomalias e reparações, e em geral, os registos de todas as ocorrências e incidentes que tenham lugar na instalação durante o seu funcionamento;

Se o desinfectante utilizado derivar do ácido cianúrico, ou se utilize qualquer produto estabilizante, a sua concentração na água dos tanques será verificada, pelo menos, semanalmente.

13.2 - No livro de registo sanitário, deverão anotar-se igualmente, as visitas de inspecção sanitária, as colheitas de amostras para análise laboratorial - a efectuar pelo menos mensalmente por um laboratório oficial ou credenciado -, e os resultados das análises laboratoriais.

As amostras de água para as análises diárias, serão colhidas pelo menos em dois

pontos representativos da massa de água presente em cada tanque, com uma recolha a 40-50 cm e outra a cerca de 20-30 cm de profundidade.
Cada piscina ou estabelecimento deverá estar apetrechada com os aparelhos, dispositivos e produtos necessários e adequados para a realização das operações de controlo da qualidade da água previstas nesta directiva.

13.3 - O preenchimento e a manutenção do livro de registo sanitário em boas condições para verificação pelas autoridades, é da responsabilidade do director do estabelecimento ou encarregado da piscina, que responderá administrativa e juridicamente pelas condições sanitárias na água das piscinas.
13.4 - Os valores do pH, teores de desinfectante, temperaturas da água e condições termo-higrométricas ambientais, serão também afixados em local bem visível para todos os utentes, próximo da entrada do estabelecimento. Aí serão igualmente afixados os resultados das análises laboratoriais e das inspecções sanitárias.

ANEXO 6

Fichas técnicas dos materiais utilizados

Ficha técnica do aço inoxidável 316L:

ACERINOX, S.A.
FABRICA DEL CAMPO DE GIBRALTAR
PALMONES (LOS BARRIOS)
TFNO. (34) - 956 62 93 00
FAX (34) - 956 62 93 11
P.O. BOX 83
11370 LOS BARRIOS (CADIZ)

TÜV CERT ISO 9001 ISO 14001
Certified systems of management in environment and quality

Abnahmeprüfzeugnis B
INSPECTION CERTIFICATE B

Prüf - Nr. / Inspection No. 51 77118 20001 E / 1

45491

ACCORDING TO / NACH EN 10204 3.1.B

"Zustimmungsschreiben des TÜV Baden vom 21. Februar 1983"
Letter of approval from the TÜV Baden dated 21-2-83
"Laut Schreiben des TÜV Baden e. v. vom 26 Juni 1989 wird auf die Gegenzeichnung verzichtet."
TÜV Baden renounce to the countersignature according their letter dated 26-6-89

Besteller - Customer ARSOPI - INDÚSTRIAS METALÚRGICAS ARLINDO S. PINHO, S.A.	**Auftrags Nr** - Our order n° KN 2033	**Bestellung Nr** - Your order n° O.C. Nº 131595
Prüfgegenstand - Article BAND (COIL)	**Werkstoff Nr und Lieferzustand** - Material n° and Condition of Delivery 1.4404/1.4401 2B	
Werkstoff - Normbez Standard - Grade of Material X2 CrNiMo 17-12-2 /X5 CrNiMo 17-12-2	**Werksbez** - Works Grade Acx - 240	**Erschmelzungsart** - Steelmaking Process A = AOD Verfahren - AOD Process A
Anforderungen - Technical requirements EN 10028-7/TRB 100/AD-2000-MERKBLATT W2/W10 DGRL 87/23/EG (PED)		**Kennzeichnung** - Marking **Schmelzennummer** - Nº of coil
Zeichen des Lieferwerks - Brand of the manufacturer ACERINOX	**Stempel des Sachverständigen** - Inspector's stamp 2727	

Pos Nr. / Item Nº	Stückzahl / Quantity	Abmessung - Dimensions mm	Schmelze Nr / Heat Nº	Probe Nr / Test Nº
3	1	3,000 x 1.500,00	8NC9	018NC9 C
4	1	3,000 x 1.500,00	8NC9	018NC9 C

Chemische Analyse - Chemical Composition

Schmelze Nr / Heat Nº	C	CR	MN	MO	N	NI	P	S	SI
Anforderungen / Requirements		16,500		2,000		10,000			
	0,030	18,500	2,000	2,500	0,110	13,000	0,045	0,015	1,000
8NC9	0,025	16,803	1,266	2,060	0,042	10,160	0,029	0,001	0,320

Mechanische Eigenschaften - Mechanical Properties Pr. Temp/T. Temp. 20° C

Probe Nr / Test Nº	Prob.-Lage / Pos of Test	Abmessungen des Probestabs / Dim. of specimen Breite x Dicke / Width x Thickness mm	Rm N/mm2	Rp 0.2 N/mm2	Rp 1.0 N/mm2	A5 %
Anforderungen / Requirements			530,00 680,00	240,00	270,00	40,00
018NC9	C T	12,500 3,00	618,26	326,17	354,60	56,24

Besichtigung und Masskontrolle wurden durchgeführt: O.B.
Surface and dimensions controlled: O.K.
Der Werkstoff ist beständig gegen interkristalline Korrosion gemäss EN ISO 3651-2
The material is resistant to intergranular corrosion test according to EN ISO 3651-2
Spektroskopische Identitätsprüfung: O.B.
Spectrometrical Identity test: O.K.
Wärmebehandlung: Glühen bei 1050 - 1100° C
Heat treatment:
Und Abschrecken mit Luft
coolingwater.

WERKSSACHVERSTÄNDIGER
WORK INSPECTOR
J. Vaquero

Zeugnis ist per EDV erstellt und ohne Unterschrift gültig gemäss E-Norm 10204

Palmones, 12 MAYO 2006

FDT0014 (Factoria)

ACERINOX, S.A.
FÁBRICA DEL CAMPO DE GIBRALTAR
PALMONES (LOS BARRIOS)
TFNO. (34) - 956 62 93 00
FAX (34) - 956 62 93 11
P.O. BOX 83
11379 LOS BARRIOS (CADIZ)

TÜV CERT ISO 9001 ISO 14001
Certified systems of management in environment and quality

INSPECTION CERTIFICATE

CERTIFICADO DE INSPECCION

3.1

ACCORDING TO / SEGUN: EN 10204

CERTIFICATE Nº / CERTIFICADO Nº: 51 77118 20002 / 1

CUSTOMER / CLIENTE:
ARSOPI - INDÚSTRIAS METALÚRGICAS ARLINDO S. PINHO, S.A.
RELVA - VILA CHÃ
APARTADO 19
3730-954 VALE DE CAMBRA CODEX

OUR ORDER Nº / N/PEDIDO: KN 2033

YOUR ORDER Nº / S/PEDIDO: O.C. Nº 131595

TRADE MARK / SELLO DEL FABRICANTE: ACERINOX

INSPECTOR'S STAMP / SELLO DEL INSPECTOR:

STEELMAKING PROCESS / PROCESO DE ACERIA: A.O.D.

REQUIREMENTS / NORMAS APLICADAS	INTERGRANULAR CORROSION / CORROSION INTERGRANULAR	GRADE / MATERIAL		FINISH / ACABADO
ASTM-A240Ed04;A480Ed04;ASME-SA240 secII-A Ed04;SA480Ed04.	ASTM-A-262 PRACTICA E	Acx 240	TP-316	2B
ASTM-A240Ed04;A480Ed04;ASME-SA240 secII-A Ed04;SA480Ed04.	ASTM-A-262 PRACTICA E	Acx 240	TP-316L	2B

COIL / BOX / BOBINA/CAJA	CONTENT / CONTENIDO	DIMENSIONS / DIMENSIONES: THICKNESS / ESPESOR	WIDTH / ANCHO	LENGTH / LARGO	MARKS / MARCA	QUANTITY / CANTIDAD	TEST Nº / PROBETA
018NC9 B	018NC9 B	3,000	1500,00		3	1	018NC9 C
018NC9 C	018NC9 C	3,000	1500,00		4	1	018NC9 C

CHEMICAL ANALYSIS / COMPOSICION QUIMICA (%)

HEAT Nº	C	CR	MN	MO	N	NI	P	S	SI
8NC9	0,025	16,803	1,266	2,060	0,042	10,160	0,029	0,001	0,320

MECHANICAL PROPERTIES / CARACTERISTICAS MECANICAS

TEST Nº	PROBE / TIPO		Rm N/mm2	Rp 0.2 N/mm2	A50 %	HRB
018NC9	C	T	618,26	326,17	54,24	81,00

REMARKS / OBSERVACIONES

Temperatura de hipertemple entre 1050 y 1100 º C.
The delivery is in accordance with the order

SURFACE AND DIMENSIONAL CONTROL / INSPECCION SUPERFICIAL Y DIMENSIONAL

SATISFACTORY
Satisfactoria

WORK INSPECTOR / INSPECTOR

J. Vaquero

Palmones, 12 MAYO 2006

20060524

(Factoría)

Ficha técnica do aço inoxidável 321:

Acciai Speciali Terni S.p.A. con Unico Socio

Viale B. Brin, 218 - 05100 Terni - Italia 11028035

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE CERTIFICATO DA IQQ SECONDO ISO 9001

CERTIFICATO DI COLLAUDO EN 10204/3.1 1506822
INSPECTION CERTIFICATE
CERTIFICATE DE RECEPTION
ABNAHMEPRÜFZEUGNIS B*

SPECIFICA: SPECIFICATION: ANFORDERUNGEN: AD2000W2 AD2000W10 EN 10088-4
EN 10088-2 EN 10028-7
ASTM A 240 ASME SA 240
ASTM A 480 ASME SA 480

ORDINE CLIENTE N°: CUSTOMER ORDER N°: COMMANDE DU CLIENT N°: BESTELLUNG Nr: SETTEMBRE 5 P

CLIENTE: CUSTOMER: CLIENT: BESTELLER:

ORDINE INTERNO N°: INTERNAL ORDER N°: COMMANDE INT. N°: WERKS Nr: 7X140206

PRODOTTO: PRODUCT: PRODUIT: PRÜFGEGENSTAND: STAINLESS STEEL COILS

AVV. DI SPEDIZ. N°: SHIPPING NOTICE N°: AVIS D'EXPEDITION N°: VERSANDANZEIGE Nr: BP007996

N° ROTOLO COIL N° N° BOBINE BAND Nr.	N° COLATA HEAT N° N° COULÉE SCHMELZE Nr.	COMPOSIZIONE CHIMICA / CHEMICAL COMPOSITION / COMPOSITION CHIMIQUE / CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG												
		% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Ni	% Mo	% N	% Ti	% Cu	%	%
771516	0516972	.029	1.02	.690	.024	.001	17.22	9.000	.210	.016	.280	.210		

TIPO D'ACCIAIO: STELL TYPE: TYPE D'ACIER: MARKENBEZEICHNUNG:

TIMBRO DEL PRODUTTORE: PRODUCER TRADE MARK: MARQUE DU PRODUCTEUR: ZEICHEN DES LIEFERWERKS:

TIMBRO DEL RESPONSABILE: INSPECTOR STAMP: MARQUE DU RESPONSABLE: STEMPEL DES WERKSAGENTEN:

VERWECHSLUNGSPRUFUNG, OBERFLACHEN - UND MASSKONTROLLE : OHNE BEANSTANDUNG

590 COMPLIES WITH P.E.D.97/23/EC

TRATT. TERMICO - RICOTTURA DI SOLUBILIZZ.: 1050 °C ARIA - ACQUA NEBULIZZATA - ACQUA
HEAT TRATMENT - ANNEALING: AIR - WATER SPRAY - WATER COOLING
TRAITEMENT - THERMIQUE - HYPERTREMPE: AIR - EAU ATOMISEE - EAU
WARMEBEHANDLUNG - ABSCHRECKEN: °C/LUFT - SPRÜHWASSER - WASSER

PROCESSO DI ELABORAZIONE: E + AOD + CC
STEELMAKING PROCESS
PROCEDE D'ELABORATION
ERSCHMELZUNGSART

IL MATERIALE È RESISTENTE ALLA CORROSIONE INTERGRANULARE SECONDO
THE MATERIAL IS RESISTANT TO INTERCRYSTALLINE CORROSION IN ACCORDANCE
LE MATERIEL EST RESISTANT A LA CORROSION INTERGRANULAIRE
DIE OBENGENANNTE SCHMELZE IST BESTÄNDIG GEGEN INTERKRISTALLINE KORROSION

RISULTATI DELLE PROVE / TEST RESULTS / RESULTATS DES ESSAIS / ERGEBNIS DER PRÜFUNGEN (1 N/mm² = 1 M Pa)

N° COLLO PACKAGE N° N° COLIS KISTEN Nr.	N° ROTOLO COIL N° N° BOBINE BAND Nr.	DIMENSIONI DIMENSIONS ABMESSUNGEN mm	N° PEZZI PIECES N° N° PIECES STÜCKZAHL	FINITURA FINISH FINITION AUSFÜHRG	PESO WEIGHT POIDS GEWICHT Kg.	(1) PRELIMINO	(2) SENSO	TRAZIONE / TENSILE / TRACTION / ZUGVERSUCH Rp 0,2% N/mm²	Rp 1% N/mm²	Rm N/mm²	A % Lo = 2"	Lo = 80	Lo = A5	DUREZZA HARDNESS DURETE HARTE HR B	H
GARATTERISTICHE RICHIESTE - REQUIRED CHARACTERISTICS - CHARACTERISTIQUES REQUISES - ANFORDERUNGEN								≥ 200	≥ 235	500-730	≥	≥	≥ 35	≤	≤
C83561	771516	4.00X1500.0	1	1D	11870	T	T	281	316	616	53.5		54.0	82.0	
C83561						C	T	280	318	614	52.3		52.8	81.0	

MOD. 2114 - 53865190

* Secondo accordi con il TÜV Bayern (Febbraio 1965) la firma del Technische Überwachung Organisation può essere evitata al sensi della lettera del TÜV Bayern del 8 Agosto 1969.
* In accordance with TÜV Bayern (February 1965) the signature of the Technische Überwachungs Organisation can be avoided in force of the letter of the TÜV Bayern on August 8 1969.
* D'accord avec TÜV / Bayern (Février 1965) la signature du Technische Überwachungs Organisation peut être évitée sur la base de la lettre TÜV / Bayern datée 8 AoÛt 1969.
* Im Einvernehmen mit dem TÜV / Bayern (Februar 1965) Auf eine Gegenzeichnung durch die zuständige Technische Überwachungs Organisation kann auf Grund des Schreibens des TÜV Bayern vom 8-8-1969 verzichtet werden.

1) *Sampling* - Location - Ort: T = Testa - Top - Tête - Kopf; C = Coda - Bottom - Pied - Fuss
2) *Sens* - Direction - Richtung: T = Trasversale - Transverse - Traverse - Quer; L = Longitudinale - Longitudinal - Long - Längs

Certifichiamo che i prodotti acciai elencati sono conformi alle prescrizioni dell'ordine.
We certify that products listed above comply with order requirements.
Nous certifions que les produits ci-dessus énumérés sont conformes aux prescriptions de la commande.
Wir bestätigen, dass die Lieferung der Vereinbarungen der Bestellanahme entspricht.

COMPLIES WI
Acciai

MARCATURE: MARKING: MARQUAGE: KENNZEICHNUNG: Wrx. - Type; Heat n° - Coil N°; Thickness - Finish

TERNI, li 29-01-2015

FIRMA DI
SIGNATU
UNTERSCHRIF
Certificato emes

L. ROTI

ANNULLA E SOSTITUISCE CERTIFICATO DI PARI NUMERO DI AVVISO 1506754 DATATO 2015/01/29
SUPERSEDES THE REPORT SAME NUMBER 1506754 DATED 2015/01/29

CE

1608

Acciai Speciali Terni SpA con unico socio V.le B.Brin, 218 05100 Terni Italy

15

1608-CPD-P136

Product hot or cold rolled, steel grade 1.4541
according to EN 10088-4:2009

Intended to be used in building construction or civil engineering

Subjected to the control system by the Notified Body n.1608 IGQ
Viale Sarca 336-I-20126 Milan(Italy) - System of assessment 2+

Tolerances as ordered

Essential characteristics as indicated in the DoP

Declaration of Performance n°	0018
Shipping notice n°	BP007996
Inspection Certificate n°	01506822
Internal Order n°	7X1402060001

Ficha técnica do Duplex 14462:

51234

OUTO KUMPU

Avesta Works
QCM. Jan Egerstad

CERTIFICATE - ZEUGNIS - CERTIFICAT 1/1
EN 10204-3.1

Date - Datum	Load - Ladung - Chargem No	Cert.No - Zeugnis No
21-Feb-2007	IT7O-0137	1531201-EN

Your order - Ihre Bestellung - Votre commando
AVE06056

Avesta order - Auftrag - Ordre Invoice - Rechnung - Facture
661/618963 661/0743857

Purchaser - Besteller - Acheteur
NICHELCROM ACCIAI INOX S.P.A.
VIA TRENTO, 96/100
IT-20099 SESTO SAN GIOVANNI (MI)
ITALY

Requirements - Anforderungen - Exigences
ASTM A 240-06
ASME SA-240 2004 A05
EN 10088-2:2005
EN 10028-7:2000
EN ISO 9445 / ASTM A 480

Dest.
NICHELCROM ACCIAI INOX S.P.A.

Product - Erzeugnisform - Produit
Stainless Steel Cold Rolled, Coil
finish 2E, pickled, cut edge

Grade - Werkstoff - Nuance
Outokumpu 2205
UNS S31803/UNS S32205/1.4462

Brand mark / Herstellerzeichen / Signe du producteur	OUTO KUMPU	Inspectors stamp / Abname - Stempel / Estamp de l'expert	AJA	Melting process / Erschmelzungsart / Procédé de fusion	E+AOD

Extent of delivery - Lieferumfang - Etendue de livre

Item Pos Poste	Pcs Anzahl Nombre	kg	Dimensions - Abmessungen - Dimensions mm	Heat No Schmelze Nr Coulée No	Lot No Los Nr Lot Nr
1	1	13980	2.00 1500	465004	- 006

Chemical composition - Chemische Zusammensetzung - Composition chimique

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	Co	N
Heat	.019	.39	1.44	.021	.001	22.36	5.69	3.12	.007	.22	.17	.165

Radioactive contamination check acc. IAEA recommendations: Satisfactory

Test results - Prüfergebnisse - Résultats dessais (1N/mm 2= 1 MPa) F = Front - Anfang - Debut B = Back - Ende - Fin T = Transverse - Quer - Travers

Test Ref / Probe Ref / Eprouv Ref		Temp °C	RP 0.2 N/MM2	RP 1.0 N/MM2	RM N/MM2	2" %	A80 %	HB	FEH %
Min		+20	500		700	25	20		
Max					950			293	
F	T	+20	646	720	846	27	27	234	53.0
B	T		636	713	850	27	25	240	

Microstructure acc to ASTM A 923-A: Satisfactory
PRE: Cr + 3,3Mo + 16N = 35.3
Corrosion acc. EN ISO 3651-2C: Satisfactory
Heat treatment: Material temperature 1100 cel / Quenched (forced air + water)
Steel grade verification (PMI-spectroscopic): OK
Insp. and gauge measurement: Satisfactory
Certified acc. Pressure Equipment Directive (97/23/EC) by TÜV CERT-Certification body for pressure equipment of the TÜV NORD GROUP; notified body, reg-no. 0045.

Outokumpu Stainless AB
Avesta Works
BOX 74
S-774 22 AVESTA
SWEDEN
Regoffice: Stockholm Sweden,Regno: 556001-6746

Telephone : + 46 (0)226 813 57
Fax : + 46 (0)226 813 16
V.A.T no : SE556001874601

This material is found to comply with order requirements

Authorized Inspector

EN ISO 9001
EN ISO 14001

20080424

Ficha técnica do PVC:

Technical Data Sheet PVC-CAW

SIMONA

Trade name: **PVC-CAW**
Date of printing: 18.09.2015

Revision: 27.02.2015

	PVC-CAW
Data sheet update	27.02.2015
Moulding compound extruded	PVC-U,EDP,074-05-T33
Extruded to moulding compound standard	DIN EN ISO 1163, Teil 1
Density, g/cm³ , DIN EN ISO 1183	1.44
Yield stress, MPa, DIN EN ISO 527	58
Elongation at yield, % , DIN EN ISO 527	4
Tensile modulus of elasticity, MPa, DIN EN ISO 527	3300
Impact strength, KJ/m² , DIN EN ISO 179	-
Notched impact strength, kJ/m², DIN EN ISO 179	4
Shore hardness D (15 s), DIN EN ISO 868	82
Mean coefficient of linear thermal expansion, K^{-1} , ISO 11359-2	$0,8 \times 10^{-4}$
Vicat B, °C , DIN EN ISO 306	74
Fire behaviour DIN 4102	DIN 4102 B1 low flammability 1 to 4 mm, general test certificate issued by an approved building inspectorate (Germany)
Fire behaviour UL 94	UL 94 V-0 up from 1 mm
Fire behaviour NF P 92-501	NF P 92-501 M1 from 1 to 3 mm
Fire behaviour BS 476	BS 476 class 1 for 3 mm
Dielectric strength, kV/mm , DIN IEC 60243-1	39
Surface resistivity, Ohm , DIN IEC 60093	10^{13}
Temperature range, °C	0 to +60
Physiological safety in accordance with BfR (German Federal Institute for risk valuation)	no
Physiological safety in accordance with EU	no
Physiological safety in accordance with FDA	no

Page: 1 of 2

PVC-CAW

The data presented in this section are to be seen as a guide and may vary depending on the processing method and test specimen used. In general, the figures are averages of tests performed on extruded sheets with a thickness of 4 mm. In the case of sheets manufactured by means of pressing, testing is generally performed on sheets with a thickness of 20 mm. Deviations may be possible if sheets are not available in these specific thicknesses. In the case of backed sheets, all technical specifications relate to the non-backed base sheets. Please note that this information is not necessarily applicable to products that have undergone downstream processing. The suitability of a material for a specific area of application must be checked by the processor or end user. All technical specifications are provided only as a guide for planning purposes. They do not constitute a guarantee of specific properties or qualities. For further information, please contact our Technical Service Centre at tsc@simona.de.

Ficha técnica do PEAD:

Technical Data Sheet SIMONA® PE-500

SIMONA

Trade name: **SIMONA® PE-500**
Date of printing: 18.09.2015

Revision: 25.03.2015

	SIMONA® PE-500
Data sheet update	25.03.2015
Moulding compound pressed	PE,QN,50 G 022
Pressed to moulding compound standard	DIN EN ISO 1872, Teil 1
Density, g/cm³ , DIN EN ISO 1183	0.95
Yield stress, MPa, DIN EN ISO 527	28
Elongation at yield, % , DIN EN ISO 527	8
Tensile modulus of elasticity, MPa, DIN EN ISO 527	1100
Impact strength, KJ/m² , DIN EN ISO 179	without break
Shore hardness D (15 s), DIN EN ISO 868	66
Mean coefficient of linear thermal expansion, K^{-1} , ISO 11359-2	$1,8 \times 10^{-4}$
Vicat B, °C , DIN EN ISO 306	80
Fire behaviour DIN 4102	DIN 4102 B2 normal flammability (self-assessment without test certificate)
Dielectric strength, kV/mm , DIN IEC 60243-1	44
Surface resistivity, Ohm , DIN IEC 60093	$>10^{14}$
Temperature range, °C	-100 to +80
Physiological safety in accordance with BfR (German Federal Institute for risk valuation)	yes
Physiological safety in accordance with EU	yes
Physiological safety in accordance with FDA	yes

The data presented in this section are to be seen as a guide and may vary depending on the processing method and test specimen used. In general, the figures are averages of tests performed on extruded sheets with a thickness of 4 mm. In the case of sheets manufactured by means of pressing, testing is generally performed on sheets with a thickness of 20 mm. Deviations may be possible if sheets are not available in these specific thicknesses. In the case of backed sheets, all technical specifications relate to the non-backed base sheets. Please note that this information is not necessarily applicable to products that have undergone downstream processing. The suitability of a material for a specific area of application must be checked by the processor or end user. All technical specifications are provided only as a guide for planning purposes. They do not constitute a guarantee of specific properties or qualities. For further information, please contact our Technical Service Centre at tsc@simona.de.

Page: 1 of 1

Ficha técnica do PP:

Technical Data Sheet PP-DWU AlphaPlus®

SIMONA

Trade name: **PP-DWU AlphaPlus®**
Date of printing: 18.09.2015

Revision: 19.09.2014

	PP-DWU AlphaPlus®
Data sheet update	19.09.2014
Moulding compound extruded	PP-H,ECH,16-09-003
Extruded to moulding compound standard	DIN EN ISO 1873, Teil 1
Moulding compound pressed	PP-H,QCH,16-09-003
Pressed to moulding compound standard	DIN EN ISO 1873, Teil 1
Density, g/cm³ , DIN EN ISO 1183	0.91
Yield stress, MPa, DIN EN ISO 527	33
Elongation at yield, % , DIN EN ISO 527	8
Tensile modulus of elasticity, MPa, DIN EN ISO 527	1700
Impact strength, KJ/m² , DIN EN ISO 179	without break
Notched impact strength, kJ/m², DIN EN ISO 179	9
Ball indentation hardness, MPa, DIN EN ISO 2039-1	70
Shore hardness D (15 s), DIN EN ISO 868	72
Mean coefficient of linear thermal expansion, K^{-1} , ISO 11359-2	$1,6 \times 10^{-4}$
Fire behaviour DIN 4102	DIN 4102 B2 normal flammability (self-assessment without test certificate)
Dielectric strength, kV/mm , DIN IEC 60243-1	52
Surface resistivity, Ohm , DIN IEC 60093	10^{14}
Temperature range, °C	0 to +100
Physiological safety in accordance with BfR (German Federal Institute for risk valuation)	yes
Physiological safety in accordance with EU	yes
Physiological safety in accordance with FDA	yes

The data presented in this section are to be seen as a guide and may vary depending on the processing method and test specimen used. In general, the figures are averages of tests performed on extruded sheets with a thickness of 4 mm. In the case of sheets manufactured by means of pressing, testing is generally performed on sheets with a thickness of 20

Page: 1 of 2

mm. Deviations may be possible if sheets are not available in these specific thicknesses. In the case of backed sheets, all technical specifications relate to the non-backed base sheets. Please note that this information is not necessarily applicable to products that have undergone downstream processing. The suitability of a material for a specific area of application must be checked by the processor or end user. All technical specifications are provided only as a guide for planning purposes. They do not constitute a guarantee of specific properties or qualities. For further information, please contact our Technical Service Centre at tsc@simona.de.

Ficha técnica da madeira de Faia:

madeicentro
ESTÂNCIA E SERRAÇÃO DE MADEIRAS EXÓTICAS, LDA

Sinónimo de Qualidade

HOME EMPRESA **PRODUTOS** NOTÍCIAS PESQUISA FAQ CONTACTOS SHOWROOM MAPA DO SITE

Produtos > Matéria Prima > Europa > Faia

PRODUTOS
- **Matéria Prima**
  - **América Norte**
  - **Ásia**
  - **África**
  - **Brasil**
  - **Europa**
- **Pavimentos**
- **Revestimentos**
- **Acessórios**

Comercialização - Faia

Esta espécie de madeira é comercializada pela Madeicentro sob a forma de:

• **Prancha**

Qualidades: Branca; Vaporizada

Dimensões:
Espessura (s): 27/40/55/78/105 mm
Largura (s): variável
Comprimento (s): variável

• **Régua**

Qualidades: Vaporizada

Dimensões:
Espessura (s): 26 mm
Largura (s): 75/115 mm
Comprimento (s): variável

• Pavimentos
• Revestimentos

Faia

Origem: Europa

Família – Fagaceae

Designação Botânica
Fagus sylvatica L.

Designações Comerciais
Faia (Port.); Hêtre (Fr.); European beech (Ing.); Buche; Faia europeia.

Propriedades Físicas

Densidade a 12% (kg/m³)	710	Pesada
Retracção (%) Tangencial Radial	 11.8 5.8	 Alta Alta

Propriedades Mecânicas

Flexão Estática Tensão de rotura (N/mm²)	110	Média
Compressão Axial Tensão de rotura (N/mm²)	54	Média
Tracção Transversal Tensão de rotura (N/mm²)	4.4	Baixa
Dureza (kN)	5.8	Média

Durabilidade
Madeira pouco durável. Particularmente sensível ao ataque de fungos cromogéneos e lenhívoros e satisfatória resistência a insectos.

Propriedades tecnológicas
• Trabalhabilidade: fácil de trabalhar, quer por meios mecânicos quer com ferramenta manual.
• Secagem: relativamente lenta e delicada pela forte anisotropia (fendimentos e empenos).
• Acabamento: recebe muito bem as tintas, os vernizes e o polimento, adquirindo então um acabamento perfeito.
• Colagem: cola satisfatoriamente; samblagem fácil e relativamente sólida.

Principais Aplicações
• Pavimentos

Tráfego pedestre		
Ligeiro(edifícios de habitação)	**Normal** (edifícios públicos)	**Intenso** (pavilhões desportivos)
x	x	x

• Marcenaria comum: particularmente no fabrico de peças delicadas de mobiliário de estilo.

- **Carvalho Francês**
- **Casquinha Branca**
- **Casquinha Vermelha**
- **Castanho**
- **Faia**
- **Freixo**
- **Riga Nova**

Ficha técnica da madeira de Carvalho:

madeicentro
ESTÂNCIA E SERRAÇÃO DE MADEIRAS EXÓTICAS, LDA

Sinónimo de Qualidade

HOME EMPRESA **PRODUTOS** NOTÍCIAS PESQUISA FAQ CONTACTOS SHOWROOM MAPA DO SITE

Produtos > Matéria Prima > Europa > Carvalho Francês

PRODUTOS
- **Matéria Prima**
  - **América Norte**
  - **Ásia**
  - **África**
  - **Brasil**
  - **Europa**
- **Pavimentos**
- **Revestimentos**
- **Acessórios**

Comercialização - Carvalho Francês

Esta espécie de madeira é comercializada pela Madeicentro sob a forma de:

• **Toro Serrado**

Qualidades: Normal; Extra

Dimensões:
Espessura (s): 20/27/35/40/57/80/105/120 mm (outras sob consulta)
Largura (s): variável
Comprimento (s): variável

Carvalho Francês

Origem: Europa

Família – Fagaceae

Designação Botânica
Quercus pedunculata; Quercus sessiliflora

Designações Comerciais
Carvalho francês; Chêne d'Europe

Propriedades Físicas

Densidade a 12% (kg/m³)	675	Moderadamente Pesada
Retracção (%) Tangencial Radial	 9.0 5.5	 Média Alta

Propriedades Mecânicas

Flexão Estática Tensão de rotura (N/mm²)	99	Média
Compressão Axial Tensão de rotura (N/mm²)	47	Média
Tracção Transversal Tensão de rotura (N/mm²)	4.5	Baixa
Dureza (kN)	5.7	Média

Durabilidade
Madeira durável.
Propriedades tecnológicas
• Trabalhabilidade: fácil de trabalhar
• Secagem: lenta
• Acabamento: permite bons acabamentos.
• Colagem: cola satisfatoriamente.

Principais Aplicações
• Pavimentos

Tráfego pedestre		
Ligeiro (edifícios de habitação)	**Normal** (edifícios públicos)	**Intenso** (pavilhões desportivos)
x		

• Carpintaria
• Mobiliário

- **Carvalho Francês**
- **Casquinha Branca**
- **Casquinha Vermelha**
- **Castanho**
- **Faia**
- **Freixo**
- **Riga Nova**

ANEXO 7

Resultados obtidos por análise de espectrometria

Amostra Padrão de aço inoxidável 316L:

Program: FE-30
Comment: Stainless steel
Single spark(s)

11366/99

2015-03-23 15:52:2

Elements: Type Corrected Concentration -> CA30

Amostra: CHAPA 316L

Material:

No	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Nb %
1	0.0248	0.377	1.345	0.0348	<0.0006	16.930	10.318	2.064	0.0275
2	0.0209	0.377	1.344	0.0355	<0.0006	16.920	10.344	2.064	0.0276
3	0.0190	0.368	1.363	0.0314	<0.0006	17.026	10.261	1.997	0.0269

No	Cu %	N %	Al %	Ti %	Sn %	W %	V %	Co %	Fe %
1	0.5551	0.0331	0.0026	0.0129	0.0126	0.0511	0.0617	0.2874	67.86
2	0.5488	0.0334	0.0024	0.0128	0.0128	0.0508	0.0620	0.2862	67.86
3	0.5530	0.0335	0.0018	0.0125	0.0120	0.0502	0.0613	0.2871	67.90

Program: FE-30
Comment: Stainless steel
Average (n=3)

11366/99

2015-03-23 15:52:52

Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

Amostra: CHAPA 316L

Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Nb %
$\bar{x}$	0.0216	0.374	1.351	0.0339	<0.0006	16.959	10.308	2.042	0.0273

	Cu %	N %	Al %	Ti %	Sn %	W %	V %	Co %	Fe %
$\bar{x}$	0.5523	0.0334	0.0023	0.0128	0.0125	0.0507	0.0616	0.2869	67.87

Amostra Padrão de aço inoxidável 321:

Program: FE-30
Comment: Stainless steel
Average (n=3)

11366/99

2015-03-23 15:56:07

Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

Amostra: CHAPA 321

Material:

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
$\bar{x}$	0.0509	0.534	0.829	0.0396	<0.0006	17.039	9.480	0.225	0.0081

	Cu	N	Al	Ti	Sn	W	V	Co	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
$\bar{x}$	0.2987	<0.0010	0.0148	0.3499	0.0061	0.0394	0.0706	0.1155	70.90

Program: FE-30
Comment: Stainless steel
Average (n=3)

11366/99

2015-03-23 15:56:07

Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

Amostra: CHAPA 321

Material:

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
$\bar{x}$	0.0509	0.534	0.829	0.0396	<0.0006	17.039	9.480	0.225	0.0081

	Cu	N	Al	Ti	Sn	W	V	Co	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
$\bar{x}$	0.2987	<0.0010	0.0148	0.3499	0.0061	0.0394	0.0706	0.1155	70.90

Amostra Padrão de Duplex 14462:

Program: FE-30 2015-03-23 15:58:57
Comment: Stainless steel 11366/99
Single spark(s) Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

Amostra: CHAPA 1.4462 Material:

No	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Nb %
1	0.0178	0.445	1.423	0.0258	<0.0006	22.170	5.789	3.129	0.0103
2	0.0159	0.435	1.445	0.0241	<0.0006	22.255	5.756	3.058	0.0099
3	0.0165	0.440	1.420	0.0267	<0.0006	22.207	5.769	3.104	0.0101

No	Cu %	N %	Al %	Ti %	Sn %	W %	V %	Co %	Fe %
1	0.2115	0.2571	0.0053	0.0070	0.0040	0.0383	0.0643	0.0980	66.30
2	0.2118	0.2351	0.0045	0.0069	0.0039	0.0371	0.0634	0.0971	66.34
3	0.2067	0.2427	0.0053	0.0069	0.0045	0.0379	0.0636	0.0985	66.34

Program: FE-30 2015-03-23 15:59:13
Comment: Stainless steel 11366/99
Average (n=3) Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

Amostra: CHAPA 1.4462 Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Nb %
$\bar{x}$	0.0167	0.440	1.429	0.0255	<0.0006	22.211	5.771	3.097	0.0101

	Cu %	N %	Al %	Ti %	Sn %	W %	V %	Co %	Fe %
$\bar{x}$	0.2100	0.2450	0.0050	0.0069	0.0041	0.0378	0.0638	0.0979	66.33

Amostra de aço inoxidável 316L submerso 3 semanas em solução de NaClO:

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: 3 SEMANAS 316L Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
1	0.0282	0.365	1.326	0.0265	0.0007	16.889
2	0.0292	0.359	1.306	0.0322	0.0022	17.078

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %	Ti %
1	2.032	0.0286	0.5354	0.1059	0.0013	0.0127
2	1.966	0.0271	0.5337	0.0559	0.0010	0.0124

	W %	V %	Co %	Fe %
1	0.0434	0.0620	0.2761	68.04
2	0.0459	0.0593	0.2841	67.89

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: 3 SEMANAS 316L Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
x̄	0.0287	0.362	1.316	0.0294	0.0014	16.9

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %	Ti %
x̄	1.999	0.0279	0.5346	0.0809	0.0012	0.01

	W %	V %	Co %	Fe %
x̄	0.0446	0.0607	0.2801	67.96

Amostra de aço inoxidável 316L submerso 3 meses em solução de NaClO:

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: 316L 3 MESES Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %
1	0.0261	0.374	1.325	0.0288	0.0008
2	0.0255	0.364	1.309	0.0296	0.0011

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %
1	2.014	0.0288	0.5572	0.0589	0.0013
2	2.019	0.0277	0.5328	0.0604	0.0012

	W %	V %	Co %	Fe %
1	0.0460	0.0622	0.3021	67.81
2	0.0450	0.0607	0.2839	67.84

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: 316L 3 MESES Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %
$\bar{x}$	0.0258	0.369	1.317	0.0292	0.0010

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %
$\bar{x}$	2.017	0.0282	0.5450	0.0597	0.0012

	W %	V %	Co %	Fe %
$\bar{x}$	0.0455	0.0615	0.2930	67.83

Amostra de aço inoxidável 321 submerso 3 semanas em solução de NaClO:

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: 321 3 SEMANAS Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
1	0.0711	0.528	0.796	0.0385	0.0017	17.123
2	0.0705	0.524	0.800	0.0375	0.0013	17.097

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %	Ti %
1	0.221	0.0046	0.2937	0.0149	0.0155	0.3413
2	0.221	0.0047	0.2879	0.0172	0.0159	0.3434

	W %	V %	Co %	Fe %
1	0.0330	0.0682	0.1087	70.79
2	0.0328	0.0685	0.1080	70.82

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: 321 3 SEMANAS Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
x̄	0.0708	0.526	0.798	0.0380	0.0015	17.1

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %	Ti %
x̄	0.221	0.0046	0.2908	0.0161	0.0157	0.34

	W %	V %	Co %	Fe %
x̄	0.0329	0.0684	0.1084	70.81

Amostra de aço inoxidável 321 submerso 3 meses em solução de NaClO:

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: 321 3 MESES Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
1	0.0696	0.532	0.801	0.0379	0.0017	17.1
2	0.0758	0.529	0.797	0.0363	0.0013	17.1

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %	Ti %
1	0.220	0.0053	0.3019	0.0155	0.0144	0.34
2	0.220	0.0050	0.2950	0.0183	0.0139	0.34

	W %	V %	Co %	Fe %
1	0.0361	0.0683	0.1152	70.67
2	0.0339	0.0682	0.1106	70.73

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: 321 3 MESES Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
x̄	0.0727	0.531	0.799	0.0371	0.0015	17.1

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %	Ti %
x̄	0.220	0.0051	0.2985	0.0169	0.0141	0.34

	W %	V %	Co %	Fe %
x̄	0.0350	0.0683	0.1129	70.70

Amostra de Duplex 14462 submerso 3 semanas em solução de NaClO:

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: DUPLEX 3 SEMANAS Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
1	0.0349	0.438	1.352	0.0245	0.0012	22.0
2	0.0363	0.430	1.361	0.0229	0.0008	22.0

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %	Ti %
1	3.084	0.0084	0.2024	0.2549	0.0050	0.00
2	3.099	0.0080	0.2011	0.2541	0.0042	0.00

	W %	V %	Co %	Fe %
1	0.0321	0.0635	0.0946	66.37
2	0.0300	0.0641	0.0912	66.45

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: DUPLEX 3 SEMANAS Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
x̄	0.0356	0.434	1.357	0.0237	0.0010	22.0

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %	Ti %
x̄	3.091	0.0082	0.2018	0.2545	0.0046	0.00

	W %	V %	Co %	Fe %
x̄	0.0311	0.0638	0.0929	66.41

Amostra de Duplex 14462 submerso 3 meses em solução de NaClO:

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: DUPLEX 3 MESES Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
1	0.0217	0.400	1.281	0.0210	0.0007	21.6
2	0.0408	0.412	1.286	0.0212	<0.0006	21.6
3	0.0246	0.411	1.257	0.0215	<0.0006	21.4

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %	Ti %
1	3.055	0.0067	0.1686	0.2836	0.0049	0.01
2	3.046	0.0079	0.1753	0.2882	0.0051	0.01
3	3.105	0.0081	0.1761	>0.4800	0.0055	0.01

	W %	V %	Co %	Fe %
1	0.0138	0.0575	0.0781	67.11
2	0.0148	0.0586	0.0818	67.05
3	0.0149	0.0594	0.0804	67.00

Measure Window - Elements: Type Corrected Concentration -> CA304-3

File Edit Measure Program Instrument Extras Help

Amostra: DUPLEX 3 MESES Material:

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
x̄	0.0290	0.408	1.274	0.0213	<0.0006	21.578

	Mo %	Nb %	Cu %	N %	Al %	Ti %
x̄	3.069	0.0076	0.1733	0.3441	0.0052	0.0139

	W %	V %	Co %	Fe %
x̄	0.0145	0.0585	0.0801	67.06